



TUGAS AKHIR - RE 141581

MODIFIKASI PROSES LUMPUR AKTIF DAN PROSES DESINFEKSI PADA PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK

YUNI DWI SETYANINGSIH

03211440000012

Dosen Pembimbing

Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

MODIFIKASI PROSES LUMPUR AKTIF DAN PROSES DESINFEKSI PADA PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK

YUNI DWI SETYANINGSIH

03211440000012

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

MODIFICATION OF ACTIVATED SLUDGE AND DISINFECTION PROCESSES IN DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT

YUNI DWI SETYANINGSIH

03211440000012

SUPERVISOR

Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI PROSES LUMPUR AKTIF DAN PROSES DESINFEKSI PADA PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memenuhi Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YUNI DWI SETYANINGSIH

NRP. 03211440000012

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Welly Herumurti, S.T., M.Sc

NIP. 19811223-200604 1 001



MODIFIKASI PROSES LUMPUR AKTIF DAN PROSES DESINFEKSI PADA PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK

Nama Mahasiswa : Yuni Dwi Setyaningsih
NRP : 03211440000012
Departemen : Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Dosen Pembimbing : Welly Herumurti, ST., M.Sc

ABSTRAK

Air limbah yang tidak terolah mengandung banyak mikroorganisme patogenik, nutrisi yang dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman, dan mungkin mengandung senyawa toksik atau senyawa yang berpotensi mutagenik maupun karsinogenik. Air limbah domestik di IPLT Keputih Surabaya memiliki karakteristik bau, kekeruhan, BOD₅, COD, nitrogen, C/N, mikroorganisme golongan *coliform* dan lainnya. Penurunan bahan pencemar air limbah dilakukan dengan menggunakan beberapa pengolahan agar efluen sesuai dengan baku mutu lingkungan. Bangunan pengolahan air limbah domestik terdiri atas bangunan pengolahan biologis, fisik, dan kimia. Kurang optimalnya proses pengolahan biologis dan tidak disertainya proses desinfeksi, menyebabkan nilai efluen untuk parameter BOD, COD, dan *coliform* belum memenuhi baku mutu dari peraturan yang ada. Salah satu cara untuk meningkatkan *removal* pada *oxidation ditch* (OD) yaitu dengan memanfaatkan zona aerobik yang diperpanjang (*extended aeration*). Pemberian kaporit menghasilkan penurunan bakteri *E.coli* berkisar 992,56/100 mL menjadi 7,28/100 mL sampel air. Efek dari penggunaan kaporit dengan dosis yang semakin meningkat akan menghasilkan residu klor yang tinggi. Dengan demikian tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu aerasi optimum, menentukan pengaruh beban organik dengan waktu aerasi dalam proses *activated sludge* dan menentukan dosis desinfektan bagi pengolahan limbah domestik.

Penelitian ini menggunakan sampel supernatan dari air limbah di inlet OD dan lumpur dari *return activated sludge* unit *clarifier* IPLT Keputih Surabaya. Penelitian dilakukan secara *batch* dengan kapasitas reaktor masing-masing 5 L. Reaktor

dikondisikan aerobik dengan menggunakan aerator dan pompa pengaduk yang dioperasikan. Penelitian diawali dengan tahap analisis karakteristik awal, *seeding* dan aklimatisasi. Pada penelitian ini digunakan variasi waktu aerasi (12, 24, 48 jam) dan konsentrasi beban organik (300, 400, 500 mg COD/L). Variasi waktu aerasi dan konsentrasi beban organik dilakukan dalam satu waktu dan reaktor yang sama. Tahap selanjutnya dalam penelitian ini, dilakukan penentuan dosis desinfektan optimum pada setiap hasil effluen reaktor. Desinfektan yang digunakan adalah kaporit dengan waktu kontak selama 30 menit. Penetapan *range* dosis aplikasi klor aktif didasarkan pada hasil konsentrasi beban organik setelah proses aerasi. Kurva BPC dibuat dari sisa klor aktif hasil pembubuhan kaporit pada sampel, sehingga dapat ditentukan dosis optimum pembubuhan kaporit. Analisis parameter yang diujikan diantaranya BOD₅, COD, pH, MLSS, ammonia, DO, TKN, nitrat, fosfat dan *coliform*.

Hasil penelitian menunjukkan pengolahan dengan waktu aerasi 48 jam optimum dalam menurunkan zat organik dan ammonia-nitrogen. Rata-rata efisiensi *removal* COD pada konsentrasi COD 300, 400 dan 500 mg/L yaitu 66%, 58% dan 60%, rata-rata *removal* ammonia yaitu 74%, 84% dan 76%. Waktu aerasi (12 jam) mengalami banyak proses *intermittent* yang terjadi sehingga proses menguraikan beban organik kurang maksimal. Waktu aerasi yang lebih lama (48 jam) menguraikan beban organik paling optimal. Rata-rata dosis desinfektan waktu aerasi 12, 24 dan 48 jam yaitu 4600 mg/L, 2100 mg/L dan 3400 mg/L

Kata Kunci: Air Limbah, Lumpur aktif, *Extended Aeration*, Desinfeksi, Beban organik

MODIFICATION OF ACTIVATED SLUDGE AND DISINFECTION PROCESSES IN DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT

Student Name : Yuni Dwi Setyaningsih
ID Number : 03211440000012
Department : Environmental Engineering FTSLK ITS
Guide Lecturer : Welly Herumurti, ST., M.Sc

ABSTRACT

Untreated wastewater contains a lot of pathogen microorganism, nutrient that can stimulate plant growth, and might contain toxic substance or other substance with mutagenic or carcinogenic potential. Domestic wastewater in IPLT Keputih Surabaya has the characteristic of smell, turbidity, BOD₅, COD, nitrogen, C/N, coliform microorganism, and others. Minimizing pollutant material in wastewater is done using several treatment in order to comply the environmental standard for the effluent. Wastewater treatment plant consists of biological, chemical, and physical units. Less optimum biological treatment process and no disinfection causes the effluent value for BOD, COD, and coliform to not meet the standard. One of the way to increase removal in oxidation ditch (OD) is to utilize extended aeration. Chlorine addition reduces *E.coli* for about 992,56/100 mL to 7,28/100 mL water sample. Effect of chlorine usage with increasing dosage will produce high chlorine residue. Thus, the purpose of this study is to determine optimum aeration time, to determine organic load influence to aeration time in activated sludge process and to determine disinfectant dosage for domestic wastewater treatment.

This study uses supernatant sample from wastewater in OD inlet and sludge from return activated sludge clarifier unit in IPLT Keputih Surabaya. The study was done using batch reactors with the 5 L capacity for each reactor. Reactor was made to aerobic condition using aerator and mixing pump. Study was started with initial characteristic analysis phase, seeding, and acclimatization. In this study, the variation used is aeration time (12, 24, 48 hours) and organic load concentration (300, 400, 500 mg COD/L). Variation of aeration time and organic load concentration was done

in one duration and reactor. The next phase in this study is to determine optimum disinfectant dosage for every effluent reactor result. Disinfectant used is chlorine with contact time of 30 minutes. Determining active chlorine application dosage range is based on organic load concentration result after aeration process. BPC curve is made from active chlorine residue from the result of chlorine addition to sample, in order to determine the optimum chlorine addition dosage. Parameters to be analyzed in test are BOD₅, COD, pH, MLSS, ammonia, DO, TKN, nitrate, phosphate and coliform.

The results showed that the treatment with 48 hours aeration time optimum in reducing the organic substances and ammonia-nitrogen. The average of COD removal efficiency at COD concentrations of 300, 400 and 500 mg / L was 66%, 58% and 60%, average ammonia removal was 74%, 84% and 76%. Aeration time (12 hours) had a lot of intermittent process, so the process of decomposing organic load is not maximal. 48 hours of aeration time had longer process and degrades organic load optimally. The average dose of disinfectant aeration time 12, 24 and 48 hours was 4600 mg / L, 2100 mg / L and 3400 mg / L.

Keyword : Wastewater, Activated Sludge, Extended Aeration, Disinfection, Organic Load

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan ilmu, perlindungan, bimbingan, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Modifikasi Proses Lumpur Aktif dan Proses Desinfeksi Pada Pengolahan Limbah Domestik”** dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran pembuatan laporan tugas akhir ini, yakni:

1. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan banyak ilmu, kesabaran, bantuan, motivasi serta waktu selama proses pembuatan tugas akhir ini.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc , Bapak Dr.Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM dan Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST, MT, M.Phil, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran yang membangun.
3. Bapak dan Ibu laboran yang telah membantu memfasilitasi serta melancarkan kegiatan penelitian.
4. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2014 dan teman-teman lainnya yang telah memberikan bantuan pelaksanaan penelitian dan semangat.
5. Semua pihak yang telah membantu pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, April 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Manfaat	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Karakteristik Air Limbah	7
2.2 Karakteristik Limbah <i>Grey Water</i> dan <i>Black Water</i>	8
2.3 Karakteristik Limbah di IPLT Keputih	10
2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik	16
2.5 Sistem Pengolahan Limbah	17
2.6 Pengolahan Biologis	18
2.6.1 <i>Activated Sludge</i>	18
2.6.2 <i>Extended Aeration</i>	19
2.6.3 Tangki Aerasi	21
2.7 Desinfeksi	26
2.7.1 Pengukuran Bahan Organik	28

2.7.2 Pengukuran Kadar Klor dan Penentuan Dosis Aplikasi Klor Aktif.....	29
2.7.3 Pengukuran Kurva BPC	30
2.7.4 Mekanisme Klorinasi.....	31
2.7.5. Uji <i>Most Probable Number</i> (MPN) Bakteri <i>Coliform</i> Berdasarkan BSN (2006).....	32
2.8 Penelitian Terdahulu.....	33
BAB 3 METODE PENELITIAN	35
3.1 Umum	35
3.2 Kerangka Penelitian.....	35
3.3 Pengambilan Sampel.....	39
3.4 Analisis Karakteristik Awal.....	39
3.6 <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	43
3.7 Penelitian Utama	44
3.8 Metode Analisis Sampel dan Data	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Analisis Awal Karakteristik Limbah.....	53
4.2 <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	54
4.3 Penelitian Utama	55
4.4 Hasil Penyisihan Konsentrasi COD	57
4.5 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen	60
4.5.1 Hasil Penyisihan Amonium-Nitrogen (NH ₄ -N)	60
4.5.2 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen (NO ₃ -N)	63
4.6 Analisis BOD dan BOD/COD.....	65
4.7 Analisis Dissolved Oxygen	69
4.8 Analisis MLSS.....	71

4.9 Analisis pH.....	74
4.10 Analisis Fosfat	77
4.11 Rasio C:N:P.....	78
4.12 Ringkasan Operasional Reaktor Aerobik	80
4.13 Desinfeksi	83
4.13.1 Analisis Kandungan <i>Coliform</i> Awal Air Limbah	83
4.13.2 Analisis zat organik dan ammonia.....	84
4.13.3 Penentuan Dosis Desinfektan	86
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN A PERHITUNGAN DEBIT AERATOR	103
LAMPIRAN B PERHITUNGAN KEBUTUHAN GULA UNTUK SEEDING.....	105
LAMPIRAN C PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN PROSEDUR ANALISIS	107
LAMPIRAN D DATA HASIL ANALISIS LABORATORIUM	123
LAMPIRAN E DOKUMENTASI PENELITIAN	146
BIOGRAFI PENULIS	151

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Dengan “ <i>Extended Aeration</i> ” dan Kriteria Perencanaan	12
Gambar 2. 2 Pembentukan titik <i>Breakpoint Chlorination</i> (BPC) dengan waktu inkubasi 0, 15, 30, dan 45 menit	30
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	38
Gambar 3. 2 <i>Settleability Solid Test</i>	39
Gambar 3. 3 Grafik Hasil <i>Settleability Solid Test</i>	40
Gambar 3. 4 Sampel inlet reaktor rencana	41
Gambar 3. 5 Reaktor Penelitian	43
Gambar 4. 1 Reaktor penelitian	56
Gambar 4. 2 Persentase <i>removal</i> parameter COD (12 jam).....	57
Gambar 4. 3 Persentase <i>removal</i> parameter COD (24 jam).....	58
Gambar 4. 4 Persentase <i>removal</i> parameter COD (48 jam).....	59
Gambar 4. 5 Persentase <i>removal</i> ammonium (12 jam)	61
Gambar 4. 6 Persentase <i>removal</i> ammonium (24 jam)	62
Gambar 4. 7 Persentase <i>removal</i> ammonium (48 jam)	62
Gambar 4. 8 Persen peningkatan nitrat (12 jam)	63
Gambar 4. 9 Persen peningkatan nitrat (24 jam)	64
Gambar 4. 10 Persen peningkatan nitrat (48 jam)	65
Gambar 4. 11 Persentase <i>removal</i> BOD ₅ Awal	66
Gambar 4. 12 Persentase <i>removal</i> BOD ₅ Akhir	67
Gambar 4. 13 Rasio BOD/COD Awal setiap reaktor.....	68
Gambar 4. 14 Rasio BOD/COD Akhir setiap reaktor	68
Gambar 4. 15 Hasil pengukuran DO (12 jam).....	69
Gambar 4. 16 Hasil pengukuran DO (24 jam).....	70
Gambar 4. 17 Hasil pengukuran DO (48 jam).....	71
Gambar 4. 18 Konsentrasi MLSS reaktor dengan durasi waktu 12 jam	72
Gambar 4. 19 Konsentrasi MLSS reaktor dengan durasi waktu 24 jam	73
Gambar 4. 20 Konsentrasi MLSS reaktor dengan durasi waktu 48 jam	74
Gambar 4. 21 Nilai pH reaktor dengan durasi waktu 12 jam	75
Gambar 4. 22 Nilai pH reaktor dengan durasi waktu 24 jam	76

Gambar 4. 23 Nilai pH reaktor dengan durasi waktu 48 jam.....	76
Gambar 4. 24 Konsentrasi fosfat <i>intermittent</i> pertama.....	77
Gambar 4. 25 Konsentrasi fosfat <i>intermittent</i> terakhir.....	78
Gambar 4. 26 Kurva BPC Sampel Waktu Aerasi 12 jam	86
Gambar 4. 27 Kurva BPC Sampel Waktu Aerasi 24 jam	87
Gambar 4. 28 Kurva BPC Sampel Waktu Aerasi 48 jam	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Tipikal Zat Organik dan Nutrien dalam Limbah Domestik.....	7
Tabel 2. 2 Karakteristik <i>Grey Water</i>	9
Tabel 2. 3 Perbandingan Karakteristik Limbah <i>Grey Water</i> dan <i>Black Water</i>	10
Tabel 2. 4 Rata-Rata Volume Lumpur Tinja yang Diolah IPLT Keputih.....	11
Tabel 2. 5 Hasil Analisis Kualitas Lumpur Tinja IPLT Keputih	14
Tabel 2. 6 Baku Mutu Air Limbah Domestik KepMen LH no 112 Tahun 2003	16
Tabel 2. 7 Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur Tahun 2013.....	16
Tabel 2. 8 Baku Mutu Air Peraturan Mentri KLH 2016	17
Tabel 2. 9 Kriteria Desain Pengolahan Tangki Aerasi	22
Tabel 2. 10 Penelitian Terdahulu	33
Tabel 3. 1 Durasi Pengambilan Sampel	34
Tabel 3. 2 Matrik proses aerobik dengan konsentrasi beban organik	34
Tabel 3. 3 Metode dan Standar Pengukuran Parameter	36
Tabel 4. 1 Hasil analisis karakteristik awal limbah unit <i>blancing tank</i> dan <i>return activated sludge</i>	53
Tabel 4. 2 Konsentrasi COD pada Tahap Aklimatisasi	55
Tabel 4. 3 Rasio C/N/P <i>intermittent</i> awal	79
Tabel 4. 4 Konsentrasi COD, TN, dan Fosfat <i>intermittent</i> awal ..	80
Tabel 4. 5 Kandungan <i>Coliform</i> Awal Air Limbah tiap Reaktor ...	84
Tabel 4. 6 Konsentrasi zat organik (COD)	85
Tabel 4. 7 Konsentrasi ammonia-nitrogen	85
Tabel 4. 8 Hasil Desinfeksi Tahap Pertama	90
Tabel 4. 9 Hasil Desinfeksi Tahap Kedua	90
Tabel 4. 10 Hasil Desinfeksi Tahap Ketiga	91

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah merupakan air sisa dari suatu hasil usaha atau kegiatan. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2016, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Setiap usaha/kegiatan yang menghasilkan air limbah domestik wajib melakukan pengolahan air limbah domestik yang dihasilkannya.

Air limbah tidak terolah mengandung banyak mikroorganisme patogenik, nutrisi yang dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman, dan mungkin mengandung senyawa toksik atau senyawa yang berpotensi mutagenik maupun karsinogenik. Pengolahan air limbah diperlukan sebagai bentuk pengurangan material koloidal, terlarut, dan terapung, mendegradasi zat organik, organisme patogen, parameter pencemar lainnya seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD_5), *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil pengolahan didapatkan penurunan kadar air limbah serta meningkatkan kualitas air permukaan sebagai badan air penerima (Metcalf dan Eddy, 2003).

Kota Surabaya memiliki IPLT yang terletak di Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo (Jonrizal, 2001). IPLT Keputih mengolah limbah domestik rata-rata setiap bulannya sebanyak $78,87 \text{ m}^3$. Karakteristik limbah domestik yang diambil dari inlet unit *oxidation ditch* memiliki konsentrasi TSS 3060 mg/L , COD $714,54 \text{ mg/L O}_2$, dan BOD_5 $305,84 \text{ mg/L O}_2$ (DKP Surabaya, 2017). Bangunan pengolahan limbah di IPLT Keputih terdiri dari atas bangunan pengolahan biologis, fisik, dan kimia. Salah satu pengolahan biologis adalah proses aerasi pada *oxidation ditch* (OD) yang berfungsi menghilangkan BOD_5 (David dan Coleman, 2000). Prinsip kerja OD dipengaruhi oleh adanya suatu aerator

yang berguna untuk menyalurkan oksigen ke dalam lumpur tinja yang sedang diaerasi.

Pendekatan aerasi untuk meningkatkan *removal* di OD salah satunya akibat pengaruh zona aerobik yang diperpanjang (*extended aeration*). *Extended aeration* (EA) adalah salah satu modifikasi yang sering digunakan pada pengolahan limbah domestik. Karakteristik BOD₅ yang rendah biasanya berasal dari komunitas kecil, perumahan, dan sekolah. *Extended aeration* dapat menerima limbah secara periodik (Mohammadi *et al.*, 2012). Faktanya, biomassa yang bertahan dalam EA reaktor kehilangan 68% kandungan VSS dalam proses aerobik stabilisasi. Tingkat *removal* proses EA bahkan lebih tinggi dari rasio hasil pengolahan konvensional, yaitu 54%. Hasil tersebut diperoleh saat reaktor biologis dioperasikan pada lumpur umur 10 hari dengan pakan limbah yang sama (Özdemir *et al.*, 2014). Pada proses konvensional digunakan waktu aerasi selama 12 jam, sedangkan pada sistem bak aerasi (*oxidation ditch*) memiliki nilai HRT mendekati 24 jam. Sistem aerasi berlanjut (*extended aeration system*) memiliki ketentuan seperti waktu aerasi lebih lama dari 30 jam dibandingkan sistem konvensional. Usia lumpur yang digunakan lebih lama dari 15 hari.

Mikroorganisme patogen pada efluen air limbah menyebabkan perpindahan penyakit melalui badan air. Kandungan bakteri di dalam tinja mencapai seitar 9% dari berat basahnya. Bakteri patogen dalam air limbah salah satunya adalah *E. coli*. Bakteri ini merupakan bakteri *gram-negative facultative anaerobic* yang menghasilkan ATP secara respirasi aerobik jika terdapat oksigen, tetapi juga mampu melakukan fermentasi (Said dan Marsidi, 2005). Proses pengolahan air limbah tanpa desinfeksi menghasilkan efluen positif mengandung *E.coli* (Anggraini *et al.*, 2014). Desinfeksi dapat dilakukan menggunakan senyawa kimia tertentu, salah satu desinfektan yang sering digunakan adalah kaporit. Menurut Andhika dkk (2013), pemberian kaporit menghasilkan penurunan bakteri *E.coli* berkisar 992,56/100 mL

menjadi 7,28/100 mL sampel air. Penggunaan kaporit dengan dosis yang semakin meningkat akan menghasilkan residu klor yang tinggi. Penentuan dosis kaporit berdasarkan kadar bahan organik yang terkandung dalam sampel limbah cair memperlihatkan bahwa, semakin tinggi nilai kadar bahan organik, maka semakin besar dosis kaporit yang diberikan, untuk itu diperlukan penentuan dosis kaporit berdasarkan dosis optimum pada titik *breakpoint chlorination* dan waktu kontak optimum dalam proses klorinasi (Busyairi et al., 2016).

Kondisi volume limbah domestik di IPLT Keputih belum memenuhi kapasitas yang tersedia, yaitu 137 m³ dari kapasitas volume total. Hal ini tentu akan berpengaruh terhadap unit operasi dan unit proses. Selain volume, nilai efluen di IPLT Keputih berdasarkan analisis tanggal 2 Juli 2015, untuk parameter BOD sebesar 72 mg/L dan COD sebesar 115 mg/L (Mega, 2016). Menurut Anggraini *et al* (2014), efluen di IPLT Keputih terbukti positif mengandung *E.coli*. Hasil pengukuran tersebut melampaui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.68/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Peraturan Pemerintah No.82/2001 mengenai Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Peraturan tersebut menyatakan bahwa kadar nilai maksimum BOD sebesar 30 mg/L, COD sebesar 100 mg/L dan *total coliform* 5000 /100 ml untuk badan air kelas II. Dari kualitas efluen di IPLT yang ada, maka diperlukan upaya modifikasi proses lumpur aktif dan desinfeksi di IPLT Keputih, Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan waktu aerasi untuk penurunan konsentrasi organik dan ammonia nitrogen ?
2. Bagaimana menentukan pengaruh beban organik dalam proses *activated sludge* ?
3. Berapa dosis desinfektan optimal yang dibutuhkan pada proses desinfeksi ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan waktu aerasi optimum untuk penurunan konsentrasi organik dan ammonia nitrogen
2. Menentukan pengaruh beban organik dan waktu aerasi dalam proses *activated sludge*
3. Menentukan dosis desinfektan bagi pengolahan limbah domestik

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Sampel limbah domestik berasal dari IPLT Keputih Surabaya
2. Lumpur aktif dan mikroorganisme berasal dari lumpur IPLT Keputih unit *clarifier*
3. Variabel yang digunakan adalah variasi waktu aerasi dan konsentrasi beban organik
4. Reaktor dioperasikan dengan sistem *batch*
5. Menentukan dosis desinfektan terbaik untuk pengolahan unit desinfeksi.
6. Parameter yang diteliti meliputi BOD₅, COD, PV, pH, MLSS, fosfat, nitrat, ammonia, TKN, *coliform*

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diberikan setelah penelitian ini adalah :

1. Memberikan rekomendasi kriteria waktu aerasi optimum untuk penurunan konsentrasi organik dan ammonia nitrogen
2. Memberikan informasi secara ilmiah mengenai pengaruh beban organik dan waktu aerasi dalam proses *activated sludge*
3. Memberikan rekomendasi dosis desinfektan optimum untuk proses desinfeksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah

Air limbah merupakan kombinasi cairan atau buangan aktivitas dari tempat hunian, institusi, daerah komersil, dan industri yang bersama-sama mengalir dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan (Metcalf dan Eddy, 2004). Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.112 Tahun 2003, pasal 1 ayat 1, bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Beberapa parameter terkait kandungan air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kandungan Tipikal Zat Organik dan Nutrien dalam Limbah Domestik

Analisis Parameter	Simbol	Wastewater Type			
		Concentrated	Moderate	Diluted	Very Diluted
BOD ₅	CBOD ₅	530	380	230	150
COD(1)	C _{COD}	740	530	320	210
Total Organic Carbon	C _{TOC}	250	180	110	70
- Carbohydrate		40	25	15	10
- Proteins		25	18	11	7
- Fatty acids		65	45	25	18
- Fats		25	18	11	7
Total Nitrogen	C _{TN}	80	50	30	20
Total Phosphorous	C _{TP}	23	16	10	6

Unit (g/m³ = mg/L = ppm) 1) COD with dichromate

Sumber: Henze dan Harrem, 2002

Limbah domestik atau limbah penduduk biasanya dikategorikan sebagai limbah dengan tipe *grey water*. Limbah domestik yang masuk ke dalam jenis ini antara lain berasal dari air bekas mandi,

cuci tangan, mesin cuci, dan lain sebagainya. Air yang berasal dari toilet tidak termasuk ke dalam limbah domestik jenis *grey water* (Li *et al.*, 2009). Karakteristik air limbah jenis *grey water* yang berasal dari hasil pencucian tangan memiliki kandungan beban organik yang paling rendah. Hal ini jika dibandingkan dengan limbah yang berasal dari dapur dan sumber lainnya. Pencemaran domestik merupakan jenis pencemaran yang masuk ke dalam badan air terbesar yaitu sebesar 85% pada beberapa negara berkembang seperti Indonesia (Sasongko, 2006).

2.2 Karakteristik Limbah *Grey Water* dan *Black Water*

Unsur utama dalam *grey water* sekitar 50-80% merupakan limbah rumah tangga. Kualitas *grey water* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah gaya hidup, standar hidup, umur, *gender*, kebiasaan, instalasi penyediaan air, dan ketersediaan air bersih (Li *et al.*, 2009). Rentang volume tipikal *grey water* adalah 90-120 L/orang.hari, sedangkan untuk negara dengan pendapatan perkapita rendah yang dipengaruhi oleh rendahnya ketersediaan air, volume *grey water* berada pada rentang 20-39 L/orang.hari (Li *et al.*, 2009).

Karakteristik *grey water* yang berasal dari kamar mandi memiliki kandungan N dan P yang rendah, hal ini dikarenakan pengeluaran urin dan feses. Beberapa kasus lainnya yaitu limbah *laundry* dan campuran *grey water* juga kekurangan kandungan N, kecuali pada beberapa kondisi lain, diantaranya jika terdapat penggunaan detergen yang bebas kandungan P. Kualitas *grey water* dari dapur memiliki kandungan senyawa organik, SS, kekeruhan, dan nitrogen yang sangat tinggi (Li *et al.*, 2009).

Karakteristik *grey water* dari dapur tidak kekurangan N dan P, serta memiliki rasio COD:N:P sebesar 100:20:1 untuk limbah mengandung kotoran (Metcalf dan Eddy, 2004). Jika dibandingkan jenis *grey water* lainnya, kandungan senyawa organik *biodegradable* pada limbah dapur akan diuraikan oleh mikroorganisme koliform yang memiliki sifat lebih toleran akan

panas (Li *et al.*, 2009). Beberapa karakteristik *grey water* dalam beberapa kategori dicantumkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Grey Water

Parameter	Asal Limbah			
	<i>Bathroom</i>	<i>Laundry</i>	<i>Kitchen</i>	<i>Mixed</i>
pH	6,4-8,1	7,1-10	5,9-7,4	6,3-8,1
TSS (mg/L)	7-505	68-465	134-1300	25-183
<i>Turbidity</i> (NTU)	44-375	50-444	298	29-375
COD (mg/L)	100-633	231-2950	26-2050	100-700
BOD ₅ (mg/L)	50-300	48-472	536-1460	47-466
TN (mg/L)	3,6-19,4	1,1-40,3	11,4-74	1,7-34,3
TP (mg/L)	0,11 - >48,8	ND - >171	2,9 - >74	0,11- 22,8
<i>Total Coliform</i> (CFU/100 mL)	10-2,4 x 10 ⁷	200,5- 7 x 10 ⁵	> 2,4 x 10 ⁸	56- 8,03 x 10 ⁷
<i>Faecal Coliform</i> (CFU/100 mL)	0-3,4 x 10 ⁵	50- 1,4 x 10 ³	-	0,1- 1,5 x 10 ⁸

Sumber: Li et al., 2009

Black water atau disebut juga sebagai air buangan tinja memiliki kandungan organik yang tinggi. *Black water* merupakan air yang berasal dari aktivitas di toilet, termasuk diantara pembilasan toilet (feses dan urin). Limbah jenis ini memiliki konsentrasi COD pada rentang 900-1500 mg/L (Syafudin *et al.*, 2012). Karakteristik limbah jenis *grey water* dan *black water* memiliki beberapa perbedaan kandungan nutrisi dan zat organik. Tabel 2.3 memperlihatkan perbandingan karakteristik limbah *grey water* dan *black water*.

Sistem pengelolaan limbah domestik dari segi jenis limbah memiliki perbedaan. *Black water* dialirkan ke tangki septik yang kemudian disedot mobil tinja dan diolah di IPLT, sedangkan *grey*

water yang berasal dari dapur yang memiliki kandungan lemak dialirkan ke bak penangkap lemak (*greace trap*) yang selanjutnya menuju saluran pembuangan limbah (Poedjowibowo, 2011).

Tabel 2. 3 Perbandingan Karakteristik Limbah Grey Water dan Black Water

Compound	Unit	Grey Water		Black Water	
		<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>
BOD ₅ Total	g O ₂ /m ³	400	100	600	300
COD Total	g O ₂ /m ³	700	200	1500	900
Total Nitrogen	g N/m ³	30	8	300	100
Total Fosfor	g P/m ³	7	2	40	20

Sumber: Henze dan Harrem, 2002

2.3 Karakteristik Limbah di IPLT Keputih

Pengolahan air limbah di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih kurang dari kapasitas desain yang direncanakan. Rata-rata volume lumpur tinja yang diolah IPLT Keputih tahun 2015 adalah 73 m³ dengan data volume seperti pada Tabel 2.4 (Mega, 2016).

Tabel 2. 4 Rata-Rata Volume Lumpur Tinja yang Diolah IPLT Keputih Taun 2016

No	Nama Perusahaan	Alamat	Volume (m ³)						
			Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
1	PT Setra Sari	Jl.Ngagel Jaya Indah	138	100	127	155,5	77	75	65
2	PT Tinja	Jl.Mayjen Sungkono 228	26	57,5	76	92	107	136	108
3	CV Sempurna	Jl.Petemon III/192 A	-	-	-	-	-	-	-
4	CV Prayoga	Jl.Petemon Barat 172	51	54	69	55	52	96	55
5	CV Nusa Jaya	Jl. Karang empat IX No.43	236	223,5	199	201,5	198	193	147
6	CV Cahaya Hidup	Jl.Darmo Baru Barat No.33	12,5	42	29	21	21	39,5	32,5
7	UD Eka Jaya	Jl.Semolowaru Selatan I/6	-	11,5	9	2	-	-	10
8	UD Sumber Rejeki	Jl.Lembah Harapan AE/16	118,5	145	205	215,5	214	268,5	313,5
9	CV Jaya Abadi	Jl.Bratang Wetan III/2	79	71	103	63	64	74	62
10	CV Utama	Jl.Bendul Merisi 142	112,5	134	96	118,5	113	115,5	96,5
11	CV Surya Agung	Jl.Bulak Banteng GG. Encap	42	15	24	11	19	30	2

No	Nama Perusahaan	Alamat	Volume (m ³)						
			Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
13	PT Menang	Jl.Candi Lontar Wetan 22N-5	-	-	-	3	2	-	-
14	UD Sumber Kencono	Jl.Krukah Utara 14	30	18	25	35	37	28	18
15	CV Mitra Abadi	Jl.Wisma Pandugo IIG 9 Blok T No.26	75,5	102	107,5	61	124	154,5	114
16	CV Sanjaya	Jl.Dukuh Pakis V/11A	67,5	79	101	76	99	79,5	116,5
17	CV Top	Jl.Dukuh Setro III/50	432	432,5	401	359	328,5	303	292,5
18	UD Sumber Jaya	Jl.Krukah Utara 14	353	325,5	375,5	271	402	334,5	302,5
19	CV Barokah	Jl.Semolowaru Selatan GG.Buntu	119	154	141	152	185	169	147
20	CV Hikmah	Jl.Barata Jaya IIA/54	35,5	35	31,5	25	14	19,5	14
21	CV Janjiku	Jl.Simomulyo Baru VF/10	-	-	-	-	-	-	--
22	CV Maju	Jl.Mulyorejo Tengah GG 8/10B	-	44	35	24	57	28	42

No	Nama Perusahaan	Alamat	Volume (m ³)						
			Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
24	UD Mitra Mandiri	Jl.Karang Pilang Barat No.69	48	51	60	63	83	86	83
25	CV Surya Kencana	Jl.Raya Lontar 116	2	16	16	10	11	2	2
26	CV Lede	Jl.Manukan Rejo XI Blok 4-E/7	-	-	-	-	-	18	2
27	CV Bima		27	31	27	-	-	-	-
Jumlah			2085,5	2253	2296,6	2082	2283,5	2311	2061
Rata-rata			67,3	80,5	74,1	69,4	73,7	77,1	66,5

Sumber : DKP Surabaya (2015)

Hasil analisis kualitas lumpur tinja dengan parameter influen dan efluen IPLT Keputih dilampirkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Hasil Analisis Kualitas Lumpur Tinja IPLT Keputih

Unit	Jumlah Unit	Titik Uji	Parameter				
			TSS (mg/L)	TS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)
SCC	4	<i>Inlet</i>	8320	47992	792,53	1600	617,8
		<i>Outlet</i>	4625	58680	636,36	1280	496,06
OD	4	<i>Outlet</i>	560	-	86,21	240	6
Distribution Box I	2	Pengumpul	560	-	-	-	-
Distribution Box II	2	RAS dan SDB	29000	-	-	-	
Publishing Pond	1	<i>Inlet</i>	80	-	78,13	160	6
		<i>Outlet</i>	80	-	78,13	160	4,21
SDB	24	<i>Cake</i>	104200	631400	-	-	-
Drying Area	2	<i>Cake</i>	169400	611600	-	-	-

Tabel lanjutan

Unit	Parameter					
	Ammonia (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Fosfor (mg/L)	pH	Surfaktan (%)	Salinitas (%)
SSC	8,35	29,57	185,22	7,86		
			148,70		8,55	3,48
OD	3,33	1,55	28,20	7,47		
Distribution Box I	-	-	-	-	-	-
Distribution Box II	-	-	-	-	-	-
Polishing Pond	2,74	1,55	28,20	7,21		
	2,10	1,35	11,59	6,03		1,78
SDB						
Drying Area						

Sumber : Mega (2016)

Berdasarkan analisis pada penelitian terdahulu, beberapa parameter dari hasil pengolahan air limbah di IPLT Keputih masih belum memenuhi baku mutu dari pemerintah.

2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Pemerintah telah mengeluarkan peraturan terbaru mengenai baku mutu air limbah. Pada analisis sampel di IPLT Keputih masih mengikuti parameter air limbah tahun 2013. Tabel 2.6 ; 2.7 dan 2.8 melampirkan peraturan baku mutu air limbah.

Tabel 2. 6 Baku Mutu Air Limbah Domestik KepMen LH no 112 Tahun 2003

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD ₅	mg/L	100
TSS	mg/L	100
Minyak dan Lemak	mg/L	10

Sumber : Lampiran Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 112 Tahun 2003

Tabel 2. 7 Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur Tahun 2013

Baku Mutu Air Limbah Domestik Volume Limbah Cair Maksimum 120 L/(orang.hari)	
Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD ₅	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan Lemak	10
pH	6-9

Sumber : Lampiran III Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

Tabel 2. 8 Baku Mutu Air Peraturan Menteri KLH 2016

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD ₅	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber : Lampiran I Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016

2.5 Sistem Pengolahan Limbah

IPLT dirancang untuk mengolah limbah domestik termasuk lumpur tinja, sehingga tidak membahayakan bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitarnya. Pengolahan limbah domestik dilakukan dengan tujuan utama, yaitu :

1. Menurunkan kandungan zat organik dari dalam lumpur tinja.
2. Menghilangkan atau menurunkan kandungan mikroorganisme patogen (bakteri, virus, jamur dan lain sebagainya) (Oktarina dan Haki, 2013)

Sistem pengolahan limbah domestik terbagi menjadi 3 proses, yaitu pengolahan fisik, kimia, dan biologis. Pengolahan fisik pada air limbah berfungsi untuk memisahkan padatan-padatan yang tidak diinginkan. Unit pengolahan fisik pada air limbah diantaranya adalah *barscreen*, *grit chamber*, dan bak pengendap. Pengolahan kimia pada proses pengolahan air limbah diantaranya menambahkan beberapa macam zat kimia untuk meningkatkan kualitas efluen. Pengolahan biologis adalah pengolahan yang memanfaatkan peran mikroorganisme dalam proses pendegradasian air limbah. Proses biologis yang sering kali digunakan diantaranya proses aerob-anaerob, proses maturasi, dan lainnya (Lestari, 2011)

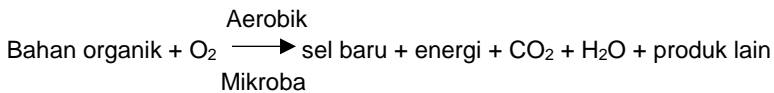
2.6 Pengolahan Biologis

Proses pengolahan air limbah secara biologis hakekatnya adalah memanfaatkan mikro-organisme (bakteria) yang mempunyai kemampuan menguraikan senyawa-senyawa polutan tertentu di dalam suatu reaktor biologis yang kondisinya dibuat sesuai untuk pertumbuhan mikro-organisme yang digunakan. Proses biologis secara garis besar terbagi menjadi tiga yakni proses dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan *system lagoon* atau kolam. Beberapa tujuan pengolahan biologis antara lain

1. Untuk menghilangkan senyawa organik
2. Proses nitrifikasi
3. Proses denitrifikasi
4. Penghilang senyawa *phosphor*
5. Stabilisasi air limbah (Said, 2010)

2.6.1 Activated Sludge

Activated sludge adalah campuran dari mikroorganisme yang hidup pada kondisi aerobik untuk digunakan oleh material organik dalam air limbah sebagai substrat. Berkurangnya substrat disebabkan oleh proses respirasi dan sintesis mikroba. Kandungan MLSS dalam proses lumpur aktif berada dalam *range* 2000 – 4000 mg/L dari berat keringnya. Berikut ini adalah persamaan biokimia dari pemakaian zat organik sebagai substrat untuk proses respirasi dan sintesis pada proses lumpur aktif.



Membuat desain dari proses lumpur aktif harus menentukan : (1) volume reaktor, (2) produksi lumpur per hari, (3) Kebutuhan oksigen per hari, (4) desain *clarifier*. Volume reaktor

ditentukan oleh persamaan kinetik, *space loading relationship*, dan persamaan empiris (Reynold, 1982)

Sludge retention time pada lumpur aktif merupakan parameter dasar yang dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi efluen substrat, *sludge wasting time* dan kebutuhan oksigen pada kondisi *steady-state*. Model proses lumpur aktif digunakan untuk banyak hal diantaranya BOD *removal*, nitrifikasi, denitrifikasi, dan fosfor *removal*. Reaksi yang terjadi ini disebabkan oleh pemakaian bakteri yang berbeda. Nilai COD dalam lumpur aktif dapat digunakan untuk mengukur substrat organik dan biomassa (Metcalf and Eddy, 2014)

Di dalam sistem lumpur aktif ditemukan 4 tipe protozoa yaitu *amoebae*, *ciliates* (*free swimming and stalked*), *flagellates* dan *suctoreans*. Selain itu, rotifera multi-sel (metazoa) (*Wisconsin Department of Natural Resources*, 2010). Dalam proses lumpur aktif dibutuhkan aerator dan blower untuk suplai oksigen dan pengadukan yang sempurna (Fauziah, 2012). Menurut Anggraeni, *et al.* (2014) penelitian pada perbandingan volume lumpur aktif dan air limbah yaitu 1:8 (V1); 1.5:8 (V2); dan 2:8 (V3), menunjukkan bahwa dapat menurunkan nilai BOD dan COD pada perlakuan V3 (perbandingan lumpur dengan air limbah 2:8) dengan efektifitas penurunan terbesar masing-masing sebanyak 52.47% dan 56.35%.

2.6.2 Extended Aeration

Proses *extended aeration* (aerasi berlanjut) terjadi di fase respirasi *endogenous* dari kurva pertumbuhan dan membutuhkan *organic loading* rendah serta waktu aerasi yang lama. Proses ini cocok untuk dimanfaatkan pada pengolahan dengan kapasitas kecil dibawah kapasitas 1-mdg. EA mampu mengolah limbah yang berasal dari rumah, kantor, sekolah, lingkup kecil, dll. Secara umum EA kurang dapat memisahkan lumpur limbah, sehingga dalam penerapannya perlu adanya unit tambahan untuk memisahkan lumpur dalam air limbah (Metcalf and Eddy, 2003)

Menurut Said (2002), semakin lama waktu kontak air limbah, maka efluen yang dihasilkan akan lebih kecil dan efisiensi penyisihan akan menjadi tinggi. Pada sistem konvensional waktu aerasi dilakukan selama 12 jam, sedangkan pada sistem oksidasi parit waktu aerasinya mendekati 24 jam (Ningtyas, 2015). Berikut ini adalah beberapa ketentuan yang biasa dipakai dalam sistem aerasi berlanjut antara lain :

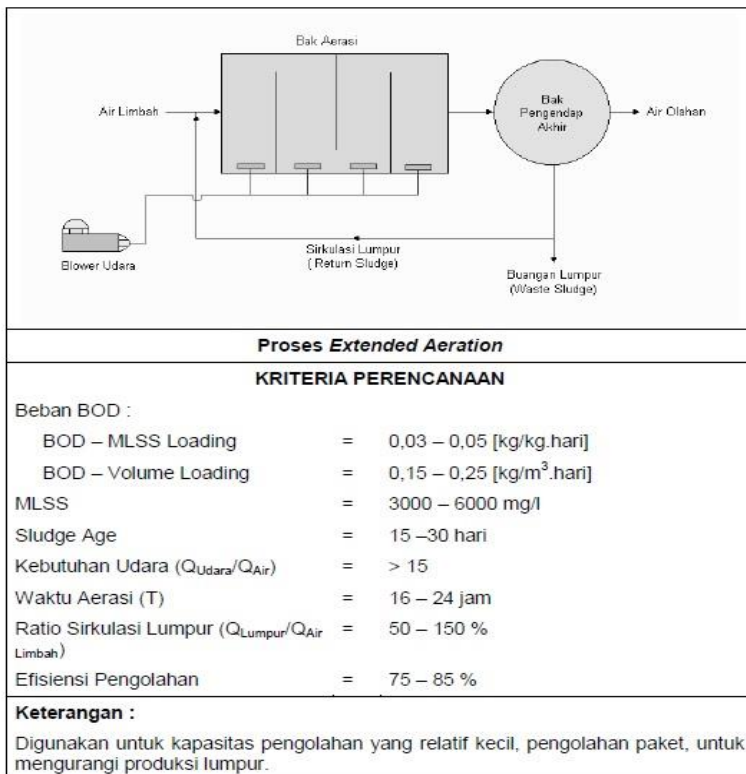
1. Waktu aerasi lebih lama (sekitar 30 jam) dibandingkan sistem konvensional. Usia lumpur juga lebih lama dan dapat diperpanjang sampai 15 hari.
2. Limbah yang masuk dalam tangki aerasi dapat tidak diolah terlebih dahulu dalam pengendap primer
3. Sistem beroperasi dengan *F/M ratio* yang lebih rendah (umumnya $< 0,1$ kg BOD / per kg MLSS per hari) dibandingkan dengan sistem lumpur aktif konvensional (0,2–0,5 kg BOD per kg MLSS per hari).
4. Sistem ini membutuhkan sedikit aerasi dibandingkan dengan pengolahan konvensional dan terutama cocok untuk komunitas yang menggunakan paket pengolahan.

Diagram proses pengolahan air limbah dengan sistem "*Extended Aeration*" dan kriteria perencanaan ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1

Sistem aerasi diperpanjang memanfaatkan umur lumpur yang lebih lama dari pada sistem aerobik lainnya. *Sludge age*, juga dikenal sebagai SRT (*Solids Retention Time*) atau MCRT (*Mean Cell Residence Time*), karakteristik operasi dari setiap sistem perawatan biologis aerobik. Usia lumpur yang lebih lama secara drastis menurunkan kadar BOD dan amonia yang efluen, terutama di iklim yang lebih dingin. Sistem proses umur lumpur yang panjang menghasilkan kadar BOD kurang dari 10 mg/L dan nitrifikasi lengkap (kurang dari 1 mg/L ammonia). Modifikasi kecil pada sistem akan memperluas kemampuannya untuk denitrifikasi dan menurunkan kadar fosfor biologis. Sementara sistem aerasi yang paling lama mencapai kemampuan pencampuran maksimal pada

umur lumpur sekitar 15 sampai 25 hari, sistem Biolac® secara efisien dan seragam mencampur volume aerasi yang terkait dengan umur lumpur 30 sampai 70 hari (Parkson, 2011)

Gambar 2. 1 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Dengan “*Extended Aeration*” dan Kriteria Perencanaan



Sumber : *Gesuidou Shisetsu Sekki Shishin to Kaisetsu, Nihon Gesuidou Kyoukai (Japan Sewage Work Assosiation)*

2.6.3 Tangki Aerasi

Aeration tank atau tangki aerasi merupakan unit pengolahan air limbah yang menggunakan sistem *activated sludge*

yang diinjeksi dengan udara (aerasi) agar polutan dalam air akan berpindah fase dari *soluble* menjadi materi yang *unsoluble* sehingga bisa diendapkan. Tangki aerasi biasanya dibangun dengan beton dan dalam kondisi terbuka serta berbentuk persegi ataupun lingkaran. Untuk unit dengan kapasitas 0,22 hingga 0,44 m³/detik, setidaknya dibutuhkan 2 tangki aerasi, sedangkan untuk kapasitas 0,44 hingga 2,2 m³/detik membutuhkan setidaknya 4 tangki aerasi (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

Tipe sistem aerasi menggunakan *activated sludge* ada beberapa diantaranya menggunakan *bubble aeration*, *mechanical aeration*, dan *air striping*. Prinsip dasar dari sistem aerasi adalah kemampuan mentransfer oksigen ke dalam cairan pada puncak kebutuhan oksigen per volume per waktu (kg m²/m³.waktu) (Winkler, 1981)

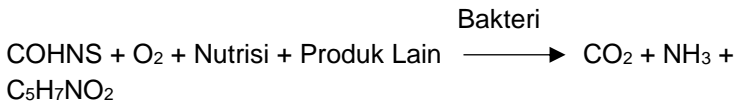
Tabel 2. 9 Kriteria Desain Pengolahan Tangki Aerasi

Uraian	Satuan	Kriteria Desain
Efisiensi <i>removal</i> BOD	%	85-95
<i>Organic loading</i>	m ³ /m ² .hari	0,4-1
SRT	Hari	5-15
HRT	Jam	3-10
Rasio F/M	-	0,03-0,15
MLSS	Mg/L	1500-4000
Kebutuhan oksigen	Kg O ₂ / kg BOD	1,5-2
Rasio resirkulasi	-	25%-50%

Prinsip kerja tangki aerasi sangat dipengaruhi oleh adanya suatu aerator yang berguna untuk menyalurkan oksigen kedalam. Proses pengolahan dengan tangki aerasi harus diikuti dengan proses pengendapan sehingga dibutuhkan bak sedimentasi. Tangki aerasi berfungsi sebagai reaktor, dimana bakteri aerobik dipelihara dalam suspensi dan menghasilkan lumpur aktif. Lumpur aktif akan keluar dan tampak berupa flok di atas mikroorganisme yang hidup (Hindarko, 2003). Zat yang berlumpur itulah yang disebut bibit lumpur aktif, yang selanjutnya dicampur dengan air

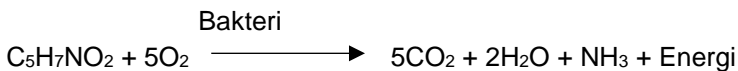
pengencer dan dimasukkan ke dalam reaktor. Kemudian seluruh isi reaktor mengalami aerasi secara mekanis. Selama proses berlangsung terjadi proses oksidasi-sintesis oleh bakteri dan protozoa yang diubah bentuknya menjadi sel bakteri baru dengan reaksi sebagai berikut :

Oksidasi - sintesis



Sel baru selanjutnya akan mengalami proses respirasi endogen, dengan reaksi sebagai berikut:

Respirasi endogen



(Metcalf dan Eddy, 2003)

Lumpur tinja yang dilewatkan akan mengalami proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Proses nitrifikasi akan dicapai pada zona aerobik dan denitrifikasi akan dicapai pada zona anoksik. Selama denitrifikasi, heterotrof fakultatif akan mengubah karbon organik sebagai donor elektron dan nitrat-n sebagai akseptor elektron. Hal ini hanya dapat dicapai saat konsentrasi *Dissolved Oxygen* sangat rendah. Sedangkan untuk menghilangkan BOD karbon terjadi dalam zona anoksik oleh organisme heterotrofik (Yang *et al.*, 2012).

Food/Mass ratio memiliki peran utama dalam proses lumpur aktif, apabila tidak dipenuhi secara sesuai maka dapat menimbulkan berbagai permasalahan di antaranya :

- Tumbuh mikroorganisme yang tidak dikehendaki, karena melakukan proses yang berlawanan dengan proses lumpur aktif.

- Sel bakteri yang berbentuk flok menyerap terlalu banyak air, sehingga berat jenisnya berkurang dan tidak dapat diendapkan.

Untuk mencegah dan mengatasi terjadinya hal tersebut, maka perlu dilakukan beberapa langkah dalam operasi proses lumpur aktif, yaitu :

- Besaran F/M harus diusahakan tepat seperti yang direncanakan. Jika nilai *ratio* kecil, maka timbul organisme yang tidak dikehendaki dan jika nilai *ratio* besar, maka flok yang terbentuk kecil. Hal ini dapat diatasi dengan membuang segera sebagian besar lumpur aktif.
- Periksa waktu tinggal organik maupun hidrolik dan koreksi seperlunya, jika menyimpang cukup jauh dari desain semula.

(Metcalf dan Eddy, 2003)

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan saat pengolahan ditangki aerasi adalah sebagai berikut :

- a. Massa BOD (BOD M)

$$\text{BOD M (kg/hari)} = S_o \cdot Q$$

Dimana :

S_o = konsentrasi BOD influen (mg/L)

Q = debit lumpur yang diolah (m^3/hari)

- b. Beban Organik / *Organic Loading*

$$\text{Organic Loading (m}^3\text{)} = \frac{\text{BOD M}}{V}$$

Dimana :

BOD M = masa BOD (kg/hari)

V = volume bak pengolahan (m^3)

- c. Efisiensi Secara Keseluruhan ϵ

$$E = \frac{(S_o - S_e)}{S_o} \cdot 100\%$$

Dimana :

So = konsentrasi BOD influen (mg/L)

Se = konsentrasi BOD efluen (mg/L)

Penambahan oksigen pada pengolahan lumpur tinja secara biologis bertujuan untuk memenuhi kebutuhan oksigen mikroorganisme atau biomasa untuk mengoksidasi zat organik dan menjaga kondisi tetap aerobik. Penambahan oksigen dapat dilakukan dengan teknik aerasi dan gas transfer (Metcalf dan Eddy, 1991)

Faktor yang mempengaruhi proses transfer oksigen, antara lain :

- Kejenuhan oksigen dalam air
- Temperatur
- Karakteristik air buangan
- Turbulensi

Oksigen dalam tangki aerasi digunakan untuk beberapa proses, diantaranya :

- Kebutuhan oksigen untuk *removal* karbon
- Kebutuhan oksigen untuk nitrifikasi
- Penambahan oksigen hasil dari proses nitrifikasi
- Proses respirasi endogenus

Konsentrasi oksigen ideal dalam proses aerobik lumpur aktif pada bak pengolahan minimal adalah 2 mg/L, hal ini diperlukan untuk menjamin pengolahan berjalan sempurna (Slamet dan Masduqi, 2000). Berikut ini adalah rumus perhitungan kebutuhan oksigen :

$$R_o = \frac{Q \cdot (S_o - S_e)}{1000 \text{ g/kg}} - 1,42 \text{ PxMLVSS}$$

Dimana :

Q = debit lumpur yang diolah (m³/hari)

So = konsentrasi BOD influen (mg/L)

Se = konsentrasi BOD efluen (mg/L)

Px MLVSS = penambahan masa MLVSS (kg/hari)

Keb.O₂ (kg O₂/hari) = total keb.O₂ – keb.untuk respirasi

2.7 Desinfeksi

Desinfeksi merupakan proses untuk membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen dengan cara memutuskan rantai antara manusia dengan bibit penyakit melalui media air. Metoda desinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Desinfeksi secara fisik adalah perlakuan fisik terhadap mikroorganisme yaitu panas dan cahaya yang mengakibatkan matinya mikroorganisme akibat perlakuan fisik tersebut.

Desinfeksi secara kimiawi adalah memberikan bahan kimia ke dalam air sehingga terjadi kontak antara bahan tersebut dengan mikroorganisme yang berakibat matinya mikroorganisme. Beberapa bahan kimia untuk desinfeksi yang umum adalah klor dan senyawanya, brom, *iodine*, *ozone*, fenol dan senyawa fenolat, alkohol, logam berat dan senyawa yang berkaitan, bahan pewarna, sabun dan deterjen sintetis, senyawa ammonium, hidrogen peroksida dan beberapa basa dan asam.

a. Desinfeksi Secara Fisik

1. Pemanasan

Pemanasan dengan waktu pendidihan selama 15–20 menit dapat membunuh bakteri patogen tidak untuk bakteri pembentuk spora dan menurunkan kesadahan sementara dalam air.

2. Radiasi Ultra Violet

Radiasi sinar ultra violet dapat digunakan untuk desinfeksi air minum. Sumber sinar ultra violet yang bisa digunakan adalah lampu *mercury* tekanan rendah. Lampu *mercury* menghasilkan sekitar 85% output cahaya monokrom pada panjang gelombang 253,7 nm, yang berada pada rentang optimum (250-270 nm) untuk mematikan mikroorganisme.

Energi ultra violet dihasilkan dari lampu yang mengandung uap *mercury*. Energi dibangkitkan dengan eksitasi uap *mercury* menghasilkan emisi sinar ultra violet. Radiasi ultra violet dengan panjang gelombang sekitar 254 nm mempenetrasi dinding sel mikroorganisme dan diabsorpsi oleh bahan seluler termasuk DNA (*deoxyribonucleic acid*) dan RNA (*ribonucleic acid*), sehingga menghalangi replikasi atau menyebabkan kematian sel.

b. Desinfeksi Secara Kimia

1. Ozone

Ozon merupakan oksidan kuat berbentuk gas berwarna biru yang berbau tajam dan merupakan bentuk tidak stabil dari oksigen yang terdiri dari tiga atom O (rumus kimia ozon adalah O_3). Ozon dihasilkan dari oksigen yang dilewatkan pada listrik bertegangan tinggi dalam udara kering. Pemakaian ozon dalam pengolahan air minum yang paling umum adalah untuk disinfeksi terhadap bakteri dan virus. Dosis ozon sebesar 0.4 mg/L dalam waktu 4 menit (faktor waktu kontak (CT) = 1.6) direkomendasikan untuk menghilangkan bakteri patogenik dan polivirus. Ozon sebagai oksidan yang sangat reaktif dalam proses ozonasi akan langsung membunuh mikroorganisme karena merusak dinding sel (lisis). Ozonasi tidak menghasilkan padatan terlarut dan tidak dipengaruhi oleh ion ammonium atau pengaruh pH dalam proses.

2. Klorinasi

Klor merupakan bahan yang paling umum digunakan sebagai disinfektan karena efektif pada konsentrasi rendah, murah dan membentuk sisa klor jika diterapkan pada dosis yang mencukupi. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi efisiensi disinfeksi dengan klor adalah:

- Konsentrasi dari disinfektan
- Temperatur
- Pengadukan

- Reaksi *breakpoint*
- Waktu kontak
- Karakteristik air
- Karakteristik mikroorganisme
- pH

Kelemahan klorinasi adalah adanya korelasi positif antara kaporit dengan senyawa organohalogen yang merupakan hasil reaksi antara klor dengan senyawa organik berhalogen (CHCl) yang terdapat dalam limbah. Salah satu senyawa organohalogen adalah trihalometan (THM). Semakin tinggi konsentrasi kaporit, semakin tinggi pula probabilitas terbentuknya THM. Trihalometan bersifat karsinogenik dan mutagenik, untuk mengeliminasi terbentuknya THM, penentuan titik *breakpoint chlorination* (BPC) menjadi penting sebelum aplikasi kaporit di lapangan. BPC adalah jumlah klor aktif (ion ClO^- dan OHCl) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik dan bahan anorganik yang terlarut dalam limbah dan kemudian sisa klor aktifnya berfungsi sebagai disinfektan (Lestari dkk, 2008). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa air yang dihasilkan oleh kaporit mempunyai pH, DO dan suhu berturut-turut adalah 9,2-10,07; 6,63-8,07 mg/L; dan 28,13-28,5°C (Setiawan *et al.*, 2013). Berikut ini adalah tahap-tahap penentuan dosis kaporit sebagai disinfektan

2.7.1 Pengukuran Bahan Organik

Pengukuran ini untuk menentukan dosis klor aktif dalam klorinasi. Sampel diambil dari bak indikator dan disimpan dalam botol steril gelap ukuran 500 mL sampai volume botol penuh dan ditutup rapat. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2004), kandungan bahan organik sampel diukur dengan titrasi kalium permanganat dengan 3 kali ulangan. Sampel sebanyak 25 mL diencerkan dengan 75 mL akuades di dalam erlenmeyer 300 mL. Larutan kemudian ditambah 2,5 mL asam sulfat 4 N dan 10 mL

larutan KMnO_4 0,01 N hingga berwarna merah muda. Larutan dididihkan selama 10 menit dan ditambah 10 mL asam oksalat 0,1 N hingga menjadi tidak berwarna. Larutan kemudian dititrasi dengan KMnO_4 0,01 N sampai muncul warna merah lagi. Konsentrasi KMnO_4 kemudian dihitung berdasarkan volume KMnO_4 yang dibutuhkan dengan persamaan (1) :

$$\text{Kadar KMnO}_4 \text{ (ppm)} = \frac{(10 + a)b - (10 \times c) \times 31,6 \times 1000}{d}$$

Keterangan : (a) volume KMnO_4 yang dibutuhkan (mL), (b) normalitas KMnO_4 , (c) normalitas asam oksalat, (d) volume sampel yang dipakai (mL).

2.7.2 Pengukuran Kadar Klor dan Penentuan Dosis Aplikasi Klor Aktif

Kadar klor aktif (ppm) dari kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) diukur dengan titrasi iodometri. Kaporit sebanyak 1 gram dilarutkan ke dalam 1 L akuades dan kemudian diambil sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL. Larutan ditambah 1 gram kristal KI dan 2,5 mL asam asetik glasial, kemudian ditetesi dengan indikator hingga muncul warna biru. Kemudian larutan dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,0125 N hingga tak berwarna. Kadar klor aktif dihitung berdasarkan jumlah natrium tiosulfat yang dibutuhkan dengan persamaan (2):

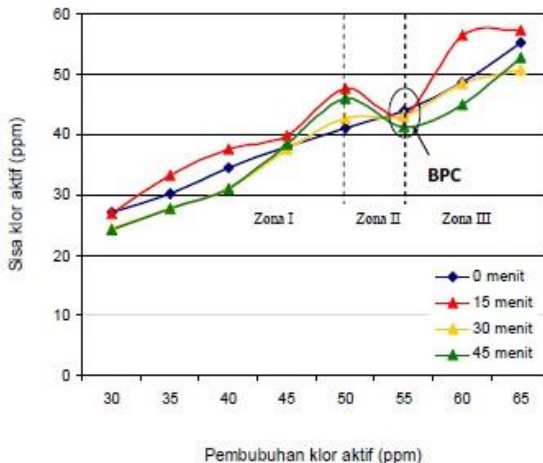
$$\begin{aligned} & \frac{\text{OCl}^-}{\text{HOCl}} \text{ (ppm)} \\ &= \frac{1000}{\text{mL sampel}} \times \text{mL natrium tiosulfat} \times \text{N natrium sulfat} \times \text{BM Cl} \end{aligned}$$

Berdasarkan kadar klor aktif tersebut, volume larutan kaporit yang dibutuhkan dalam perlakuan sampel dengan dihitung berdasarkan persamaan $N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$ untuk mendapatkan dosis klor aktif yang ditentukan. N_1 adalah konsentrasi kaporit berdasarkan kandungan bahan organik, V_1 adalah volume

sampel, N2 adalah dosis klor aktif dalam kaporit dan V2 adalah volume larutan kaporit yang dibubuhkan

2.7.3 Pengukuran Kurva BPC

Setelah konsentrasi dosis kaporit ditentukan, kemudian 200 mL sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL dan masing-masing diberi kaporit sebesar dosis tersebut kemudian diinkubasikan pada suhu ruang selama 30 menit. Sisa klor aktif dalam sampel diukur dengan natrium thiosulfat seperti pada langkah di 2.7.2. Berdasarkan sisa klor aktif tersebut kemudian dibuat kurva *breakpoint chlorination* (BPC). Pengukuran diulang sebanyak 3 kali untuk masing-masing waktu inkubasi.



Gambar 2. 2 Pembentukan titik *Breakpoint Chlorination* (BPC) dengan waktu inkubasi 0, 15, 30, dan 45 menit.

Sumber: Shovitri *et al.*, 2011

Dari 4 masa inkubasi yang dilakukan, masa inkubasi 30 menit adalah waktu yang terbaik karena menghasilkan rerata sisa klor yang terendah dibandingkan masa inkubasi 0, 15 dan 45 menit (Gambar 2. 2). Diasumsikan bahwa semakin banyak klor aktif bereaksi dengan bahan organik dan anorganik yang terlarut dalam

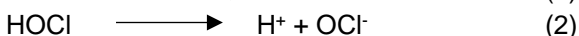
sampel, maka semakin sedikit pula sisa klor aktif yang terukur, sehingga semakin bersih limbah cair rumah sakit dari kontaminasi bahan organik dan anorganik, serta semakin rendah probabilitas terbentuknya senyawa trihalometan yang berbahaya bagi kesehatan. Hasil ini sesuai dengan rekomendasi *The World Health Organization* (WHO) yang menyebutkan bahwa waktu desinfeksi yang efektif adalah 30 menit (Hend Galal-Gorchev, 1996).

Gambar 2.2 memperlihatkan bahwa titik BPC adalah titik terendah sisa klor. Klorinasi setelah tahap BPC akan lebih efektif karena peningkatan dosis klor akan sesuai dengan sisa klor dalam air. Apabila air tidak mengandung senyawa yang dapat bereaksi dengan klorin, maka klor yang ditambahkan akan menjadi klor bebas dan berbanding lurus dengan konsentrasi yang ditambahkan. Kondisi di dalam air tersebut dinamakan *Zero Chlorine Demand* (kebutuhan klorin nol). Air yang mengandung senyawa-senyawa yang dapat bereaksi dengan klorin (ammonia, Fe, Mn dan H₂S) akan terjadi reaksi-reaksi yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Zona 1 merupakan daerah pemakaian klor untuk beberapa zat pereduksi, sedangkan pada zona 1 hingga zona 2 kloramin akan terbentuk sebagai klor aktif. Penambahan klor yang terus menerus akan menurunkan jumlah kloramin hingga terjadi BPC. Pada zona 3 peningkatan konsentrasi klor akan berbanding lurus dengan sisa klor.

2.7.4 Mekanisme Klorinasi

- Reaksi klorin dengan air

Gas klor (Cl₂) yang dimasukkan ke dalam air murni akan terjadi reaksi yang menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl⁻) seperti pada reaksi sebagai berikut :



Pada reaksi (1), jika pH larutan melebihi 4 maka reaksi kesetimbangan akan bergeser ke arah kanan sehingga Cl₂ dalam larutan menjadi menurun dan membentuk HOCl. Asam hipoklorit

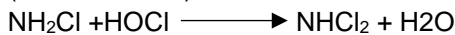
ini yang dapat membunuh bakteri jika bereaksi dengan enzim di dalam sel. Enzim mempunyai peranan penting dalam metabolisme sel, jika enzim rusak maka metabolisme akan tidak aktif sehingga sel akan mati. Perusakan enzim inilah yang merupakan dasar desinfeksi dengan klorinasi.

- Reaksi klor dengan Ammonia

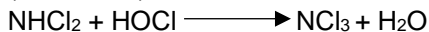
Reaksi klor dengan ammonia penting artinya dalam klorinasi untuk desinfeksi. Klorin yang ditambahkan ke dalam air yang mengandung ammonia akan bereaksi dan terjadi kesetimbangan dengan ion ammonium dan ion hydrogen. Ammonia bereaksi dengan HOCl akan terbentuk kloramin. Reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :



(monokloramin)



(dikloramin)



(trikloramin)

Klor di air yang berikatan kimia dengan ammonia (organik nitrogen) disebut klor terikat (*combined available chlorine*). Klor tersedia terikat mempunyai daya desinfeksi yang lebih rendah dibandingkan dengan klor tersedia bebas. Pembentukan monokloramin dan dikloramin dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu, pH, suhu serta perbandingan Cl : NH₃.

2.7.5. Uji *Most Probable Number* (MPN) Bakteri *Coliform* Berdasarkan BSN (2006)

Sampel yang digunakan adalah limbah cair yang telah diklorinasi sesuai dengan dosis titik BPC. Sampel sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 500 mL dan dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, dan 10⁻⁴. Hasil pengenceran diambil 1 mL suspensi inokulum dan dibiakkan ke 10 mL medium laktosa di tabung reaksi yang berisi dan tabung

durham terbalik. Masing-masing pengenceran mempunyai 5 tabung reaksi pengujian. Biakan diinkubasi pada suhu 36°C selama 2x24 jam, dengan pengamatan setiap 24 jam. Tabung reaksi yang mengandung gas akan dilanjutkan dengan tes penegasan. Sebanyak 2 tetes biakan dari tabung reaksi yang positif mengandung gas diambil dan ditanam dalam 10 mL medium *Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGLBB)* di tabung reaksi yang juga berisi tabung durham terbalik. Setelah dihomogenisasi, biakan di inkubasi pada suhu 36°C selama 2x24 jam. Tabung reaksi yang medianya menjadi keruh dan mengandung gas dinyatakan positif mengandung bakteri koliform. Berdasarkan jumlah tabung reaksi yang positif, kemudian MPN dihitung dengan melihat Tabel MPN baku dan jumlah bakteri koliform dihitung dengan persamaan (3) :

$$\text{MPN} / 100 \text{ mL} = \text{nilai MPN} \times \text{faktor pengenceran}$$

2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.10 berisi ringkasan atau intisari dari beberapa penelitian terdahulu mengenai *extended aeration*, desinfeksi, beban organik, kondisi IPLT dan penelitian lain.

Tabel 2. 10 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian	Variabel	Sumber
1	<ul style="list-style-type: none"> • volume lumpur tinja di IPLT Keputih belum memenuhi kapasitas desain, yaitu 137 m³ dari kapasitas desain. • Berdasarkan analisis tanggal 2 Juli 2015, untuk parameter BOD sebesar 72 mg/L dan COD sebesar 115 mg/L 	Kondisi IPLT Keputih Surabaya	Mega, 2016
2	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi lumpur dari <i>return activated sludge</i> unit <i>clarifier</i> IPLT Keputih adalah 28000 mg/L 	Karakteristik IPLT Keputih	Indriani, 2010

No	Penelitian	Variabel	Sumber
3	<ul style="list-style-type: none"> Cara mengetahui jumlah <i>Coliform</i> digunakan metode MPN (<i>Most Probable Number</i>) 	Desinfeksi <i>Break Point Chlorination</i>	Shovitri <i>et al.</i> , 2011
4	<ul style="list-style-type: none"> Proses nitrifikasi, denitrifikasi di OD 	<i>Oxidation Ditch</i>	Yang <i>et al.</i> , 2012
5	<ul style="list-style-type: none"> Efek <i>organic loading rate</i> pada kinerja reaktor ABR-AF 	<i>Organic loading Rate</i>	Putri, 2015
6	<ul style="list-style-type: none"> Efluen di IPLT Keputih positif mengandung <i>E.coli</i> 	Desinfeksi	Anggraini <i>et al.</i> , 2014
7	<ul style="list-style-type: none"> Pengujian sampel air limbah dengan konsentrasi klorin 10, 20, 40, dan 80 mg/L pada waktu kontak 30 menit Penambahan klorin 20 mg/L pada 500 mL air limbah menghasilkan sisa klorin 5 mg /L pada waktu kontak 120 menit (rentang waktu kontak 10-120 menit) 	Desinfeksi	Winward <i>et al.</i> , 2008

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya waktu aerasi untuk mencapai proses aerobik yang optimum dalam penurunan konsentrasi organik dan ammonia nitrogen. Menentukan pengaruh beban organik dalam proses *activated sludge* dan menentukan dosis desinfektan bagi pengolahan limbah domestik. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel air limbah di IPLT Keputih Surabaya. Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan analisis *settleability solid test* dan kualitas influen, efluen dengan uji BOD₅, COD, pH, MLSS, ammonia, nitrat, bakteri *coliform* pada air limbah IPLT Keputih. Pada proses aerasi diperpanjang (*extended aeration*) ini akan dilakukan 3 variasi waktu aerasi. Penentuan hasil dari waktu yang optimal pada efluen IPLT Keputih ditunjukkan dengan nilai F/M, dan waktu tinggal hidrolis yang akan dikorelasikan dengan penurunan zat organik terbesar yang terbentuk.

Analisa pendahuluan kedua dilakukan analisis pengaruh beban organik pada *activated sludge*. Beban organik nantinya akan dilakukan 3 variasi kadar yang berbeda. Terakhir, melakukan analisis kandungan *coliform* pada efluen pengolahan biologis. Pengambilan sampel air efluen pengolahan biologis dilakukan pada waktu dan kondisi yang sudah ditentukan. Analisis *coliform* bertujuan untuk mengetahui kandungan bakteri *coliform* dalam sampel. Pembubuhan desinfektan dilakukan pada *range* dosis yang ditentukan untuk mendapatkan kurva BPC, sehingga dapat menentukan dosis optimal yang harus dibubuhkan agar efluen IPLT Keputih agar memenuhi baku mutu.

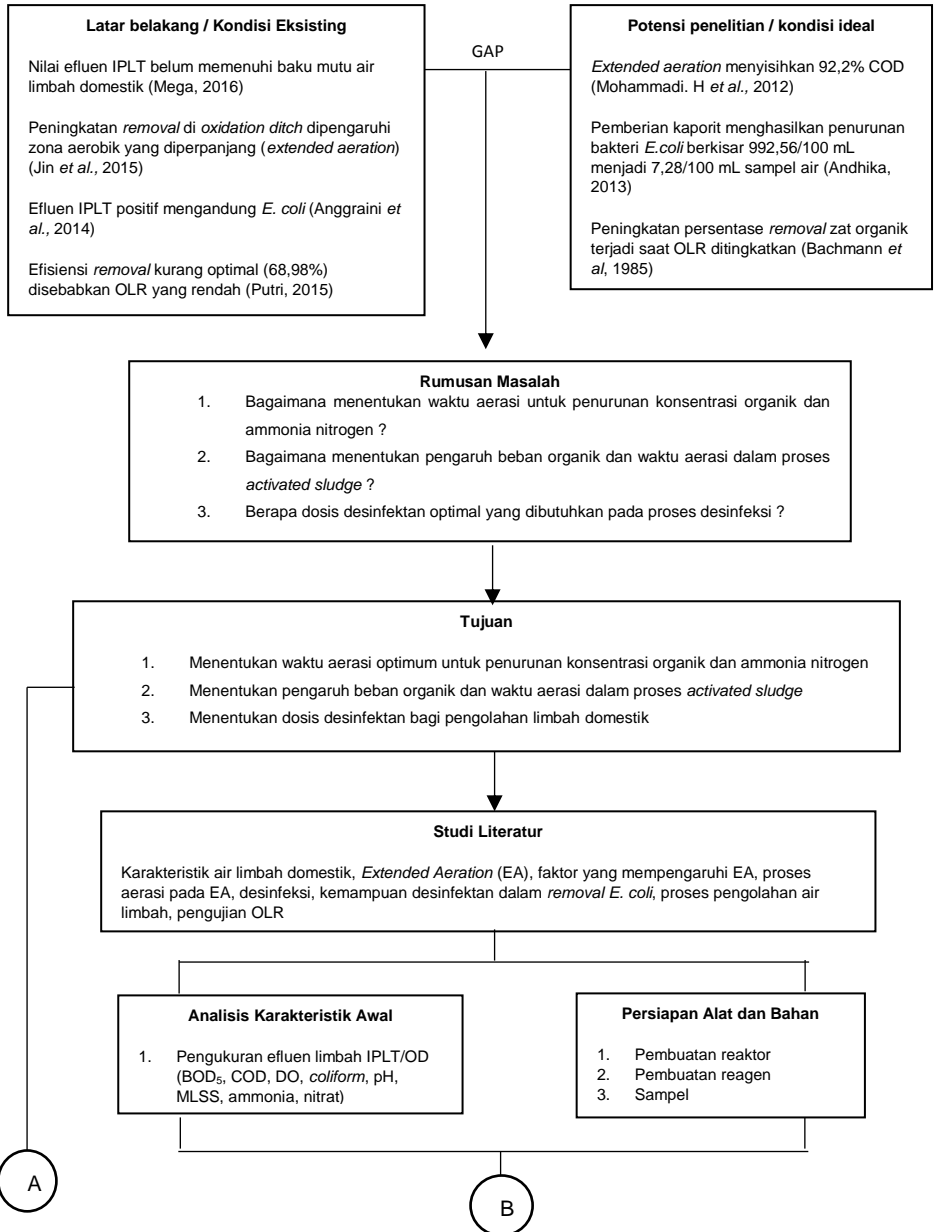
3.2 Kerangka Penelitian

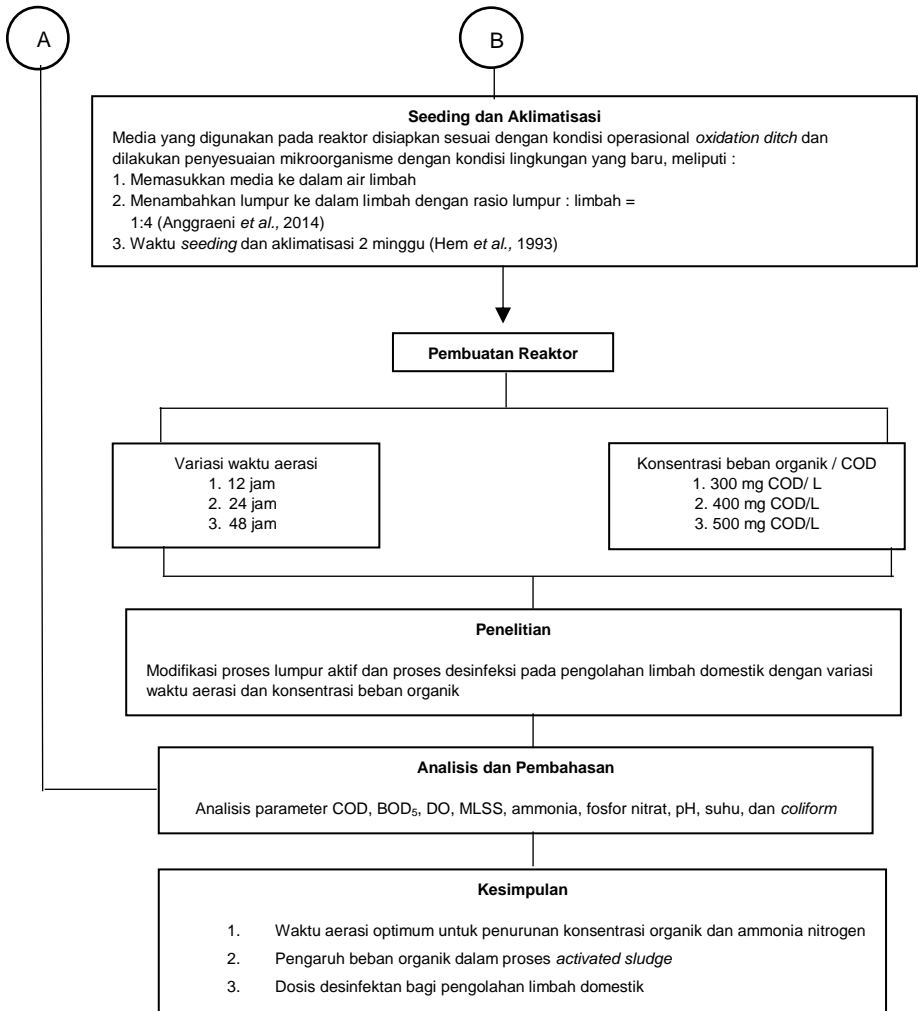
Acuan dalam melaksanakan penelitian adalah metode penelitian, yang disusun berdasarkan pemikiran akan adanya

suatu permasalahan terhadap ide penelitian. Penyusunan kerangka penelitian dilakukan dengan tujuan:

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan penelitian yang akan dilaksanakan agar pelaksanaan penelitian dapat terencana secara sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam pelaksanaan penelitian dari awal penelitian sampai penulisan laporan akhir penelitian.
3. Mempermudah untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.
4. Menghindari dan memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan yang terjadi selama penelitian berlangsung.

Kerangka penelitian secara keseluruhan dari Tugas Akhir ini digambarkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Pengambilan Sampel

Sampel limbah diambil pada inlet *oxidation ditch*. Inlet OD dipilih sebagai lokasi sampling karena mempresentasikan kondisi awal air limbah sebelum proses pengolahan biologis. Pengambilan sampel dilakukan satu waktu karena kondisi air limbah di inlet OD IPLT Keputih relatif sama untuk sepanjang waktu (dalam musim yang sama). Lumpur aktif yang akan digunakan diambil dari *return activated sludge* unit *clarifier* IPLT Keputih. Hal ini dikarenakan lumpur tersebut memiliki konsentrasi yang tinggi, yaitu sebesar 28000 mg/L (Aljumriana, 2015).

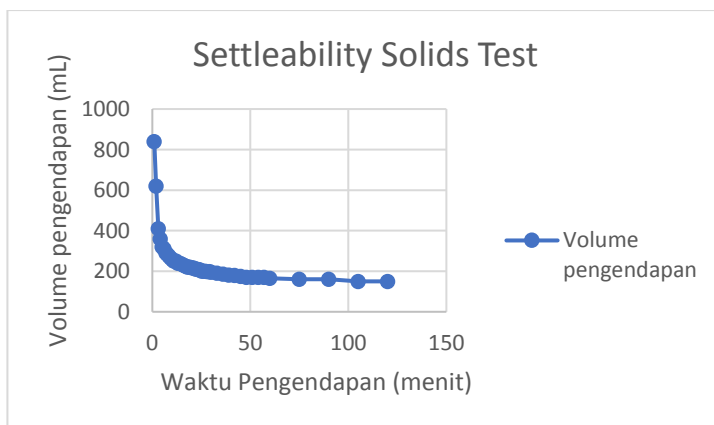
3.4 Analisis Karakteristik Awal

Analisis karakteristik awal merupakan salah satu penelitian pendahuluan yang berguna untuk mengetahui kualitas air limbah dan lumpur aktif yang digunakan dalam penelitian ini. Analisis ini dilakukan uji karakteristik yang meliputi COD, TKN, ammonia, BOD₅, MLSS, pH, DO, fosfor, nitrat, dan *coliform*. Pada analisis karakteristik awal juga dilakukan *settleability solids test* guna mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh lumpur untuk mengendap (Metcalf dan Eddy, 2003).



Gambar 3. 2 *Settleability Solid Test*
Sumber : water.yokosuka, 2017

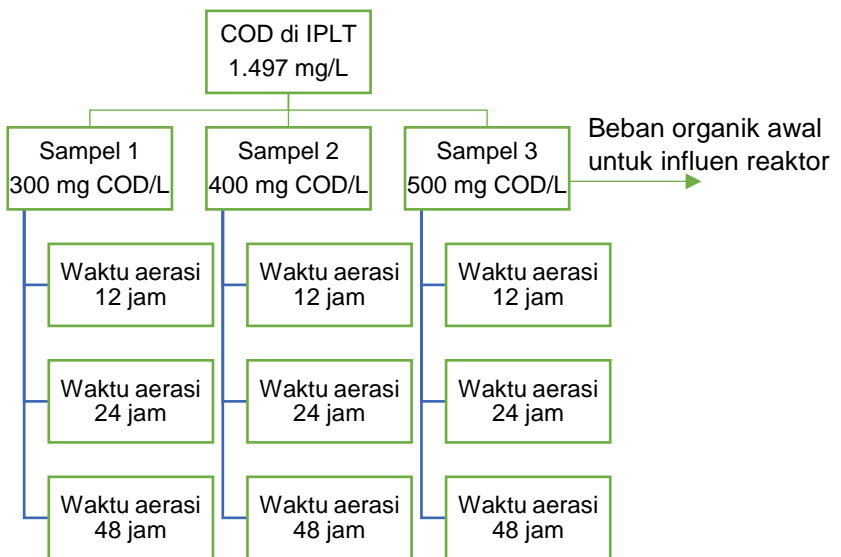
Settleability solids test juga berguna untuk mengetahui jumlah lumpur yang terendapkan selama waktu pengendapan tersebut. Pengukuran *settleability solids test* menggunakan silinder 1 L yang menggambarkan angka pengendapan atau *thickening tank* (Heinss *et al.*, 1999). Hasil analisis tersebut akan diperoleh jumlah air limbah dan lumpur yang harus dimasukkan ke dalam reaktor uji. Gambar 3.3 menunjukkan grafik waktu pengendapan pada *settleability solids test*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lumpur mulai stabil mengendap pada menit ke 100. Pengambilan supernatant dari air limbah dilakukan dengan cara menempatkan air limbah dari inlet OD di sebuah bak, kemudian ditunggu hingga mengendap. Setelah 100 menit supernatant dapat diambil untuk dilakukan proses *seeding* dan aklimatisasi



Gambar 3. 3 Grafik Hasil *Settleability Solid Test*

Pada penelitian ini dibuat variasi tiga buah konsentrasi influen reaktor rencana sebesar 300, 400 dan 500 mg COD/L dengan melakukan pengenceran air limbah influen IPLT. Variasi 3 konsentrasi influen dipilih karena mempresentasikan kandungan zat organik dan nutrien dalam air limbah domestik. 300 mg COD/L untuk kandungan konsentrasi zat organik rendah, 400 mg COD/L untuk konsentrasi sedang, dan 500 mg COD/L untuk konsentrasi

zat organik yang tinggi (Henze dan Harrem, 2002). Konsentrasi air limbah 300 mg COD/L mewakili konsentrasi dari *grey water*, 500 mg COD/L merupakan konsentrasi *black water* dan 400 mg COD/L adalah konsentrasi campuran antara *grey water* dan *black water*. Hasil pengukuran di unit *balancing tank* didapatkan hasil COD sebesar 1.497 mg/L. Pengenceran limbah influen dari unit OD di IPLT Keputih, digunakan untuk mendapatkan konsentrasi influen sesuai dengan yang direncanakan. Beberapa hal yang bisa dilakukan untuk meningkatkan atau menurunkan nilai OLR adalah seperti penggabungan *black water* dan *grey water* pada influen air limbah yang akan diolah sehingga didapat konsentrasi zat organik influen lebih tinggi. Pencampuran sampel air limbah influen IPLT Keputih dengan air efluen hasil pengolahan dimaksudkan untuk mendapatkan konsentrasi zat organik yang direncanakan (Putri, 2015).



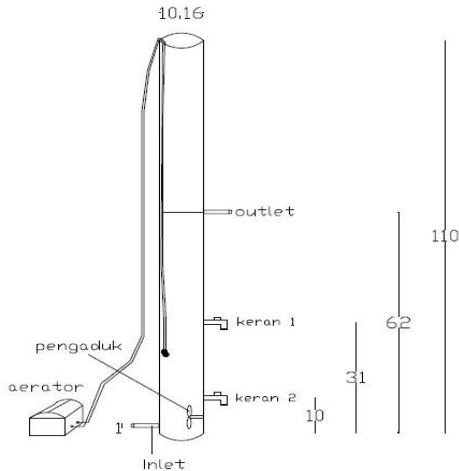
Gambar 3. 4 Sampel inlet reaktor rencana

3.5 Pembuatan Reaktor

Reaktor terbuat terbuat dari pipa PVC dengan diameter \pm 10,16 cm (4 inchi) dan tinggi 110 cm dengan volume reaktor 8,9 L. Volume pengolahan pada reaktor adalah 5 L. Total reaktor berjumlah sembilan buah sesuai dengan variasi waktu aerasi dan konsentrasi beban organik. Pada setiap reaktor dipasang *bubble* aerator dan pengaduk, dimana pada saat proses aerobik pengaduk dan aerator dinyalakan. Ilustrasi pengoperasian reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.5. Pada setiap reaktor terdapat tiga lubang, fungsi dari setiap lubang adalah sebagai berikut:

- Outlet, saluran outlet dan sebagai keran kontrol
- Keran 1, berfungsi untuk pengambilan sampel untuk diuji parameternya.
- Keran 2, berfungsi untuk pengambilan lumpur untuk analisis MLSS setelah proses pengendapan.

Aerator digunakan untuk suplai oksigen pada proses aerobik menggunakan *bubble* aerator dengan kapasitas 3,5 L/menit. Spesifikasi aerator ini disesuaikan dengan kebutuhan debit aerator berdasarkan perhitungan (Lampiran A) sekaligus debit jagaan untuk menjamin tercapainya kondisi aerobik dengan nilai DO > 2 mg/L Pengaduk dalam reaktor digunakan untuk menjaga agar media tetap bergerak di dalam reaktor.



Gambar 3. 5 Reaktor Penelitian

3.6 Seeding dan Aklimatisasi

Seeding dilakukan untuk memperoleh mikroorganisme yang siap digunakan ketika pengoperasian reaktor. Limbah dan lumpur IPLT dimasukkan ke dalam reaktor untuk memberi makanan pada mikroorganisme dengan perbandingan rasio air limbah dan lumpur 4:1. Sampel air limbah diambil dari inlet OD kemudian diendapkan lumpurnya dan diambil supernatan untuk dijadikan sampel pada reaktor uji. Lumpur hasil pengendapan dikembalikan ke IPLT. Lumpur yang digunakan untuk proses *seeding* berasal dari *return activated sludge* (RAS) unit *clarifier* IPLT Keputih. Konsentrasi lumpur IPLT Keputih adalah 28000 mg/L (Indriani, 2010). Sedangkan konsentrasi lumpur yang digunakan adalah 4000 mg/L (Hopper, 2008). Sehingga dilakukan pengenceran terlebih dahulu untuk mencegah *bulking sludge*.

Seeding bertujuan untuk memberikan sumber organik pada mikroorganisme. Sumber organik yang digunakan adalah sukrosa yang berasal dari gula pasir. Pada proses *seeding* dimasukan lumpur dari RAS sebanyak 1 L, kemudian memasukan

50% air limbah dari total kebutuhan (2 L dari 4 L). Memasukan 50% sukrosa dari total kebutuhan sukrosa sesuai dengan perhitungan pada Lampiran B. Proses *seeding* dilakukan selama 1 minggu (hari 1-7)

Aklimatisasi merupakan proses penyesuaian suatu organisme untuk beroperasi pada lingkungan baru. Limbah dan lumpur dicampur di dalam reaktor yang diaerasi selama dua minggu (14 hari). Aklimatisasi dilakukan pada sembilan reaktor sesuai dengan konsentrasi reaktor yang digunakan pada penelitian utama nantinya.

Proses aklimatisasi dilakukan selama 1 minggu (hari 8-14) setelah proses *seeding*. Selama proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan pengukuran COD setiap dua hari sekali untuk mendapatkan kondisi *steady state*. Kondisi *steady state* dapat dicapai apabila efluen sampel mempunyai nilai konsentrasi COD yang konstan atau stabil (Chen *et al.*, 2008). Setelah mencapai kondisi *steady state* maka dilakukan proses *decanting* dan lumpur yang sudah teraklimatisasi digunakan untuk penelitian utama.

3.7 Penelitian Utama

Penelitian dimulai setelah proses *seeding* dan aklimatisasi selesai serta reaktor sudah mencapai kondisi *steady state*. Penelitian dilakukan dengan variasi waktu durasi proses aerobik dan variasi konsentrasi beban organik. Penelitian ini untuk menentukan proses pengolahan lumpur aktif yang optimal. Menentukan pengaruh konsentrasi beban organik dengan waktu aerasi. Menentukan dosis terbaik dalam menurunkan kandungan *coliform* air limbah domestik.

Reaktor dioperasikan secara *batch* dengan jumlah total 9 buah reaktor. Setiap reaktor difungsikan untuk 3 variasi waktu aerasi (12, 24, 48 jam) dan 3 variasi konsentrasi beban organik (300, 400, 500 mg COD/L). Proses aerobik pada reaktor dibuat dengan menyalakan aerator dan pengaduk. Reaktor beroperasi pada periode *complete mix aeration*. Selanjutnya dilakukan

pengambilan sampel dari ke-9 reaktor untuk dianalisis parameter dan kemudian dilakukan proses desinfeksi. Desinfeksi dilakukan pada rentang dosis dan rentang waktu kontak untuk mengetahui dosis optimal.

Desinfektan yang digunakan pada proses desinfeksi adalah kaporit. Waktu kontak sampel dengan kaporit selama 30 menit. Penentuan dosis kaporit ditentukan setelah didapatkan hasil konsentrasi zat organik efluen. Limbah yang mengandung bahan organik sebesar 39,79 mg/L, menggunakan dosis klor aktif 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, dan 65 mg/L. Titik BPC terjadi pada dosis 55 mg/L (Shovitri *et al.*, 2011). Kadar bahan organik pada sampel limbah cair sebesar 137,26 mg/L, sehingga dosis kaporit yang dibubuhkan dimulai dari 130-165 mg/L. Titik BPC terjadi pada pembubuhan klor aktif 160 mg/L untuk kedua waktu kontak yaitu 30 dan 40 menit (Busyairi *et al.*, 2016). Berikut ini adalah tahap-tahap analisis dari pengujian kadar bahan organik hingga penentuan dosis optimum.

1. Analisis pengujian kadar bahan organik

Pengujian kadar bahan organik sampel diukur memakai titrasi kalium permanganat. Nilai kadar bahan organik didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 1 (Busyairi *et al.*, 2016).

$$\text{Kadar KMnO}_4 \text{ (ppm)} = \frac{(10 + a)b - (10 \times c) \times 31,6 \times 1000}{d} \quad (1)$$

Keterangan: (a) volume KMnO_4 yang dibutuhkan (mL)
(b) normalitas KMnO_4
(c) normalitas asam oksalat
(d) volume sampel yang dipakai (mL).

2. Pengukuran kadar klor dan penentuan dosis aplikasi klor aktif

Pengujian nilai klor aktif dalam kaporit dilakukan memakai metode titrasi iodometri. Nilai klor aktif dihitung berdasarkan jumlah

natrium tiosulfat yang dibutuhkan memakai persamaan 2 (Shovitri et al., 2011).

$$\frac{\frac{\text{OCl}^-}{\text{HOCl}} \text{ (ppm)}}{\frac{1000}{\text{mL sampel}}} \times \text{mL natrium tiosulfat} \times \text{N natrium sulfat} \times \text{BM Cl} \quad (2)$$

Setelah nilai klor aktif diperoleh, dilakukan penentuan dosis larutan kaporit yang akan dibubuhkan kedalam sampel limbah cair. Berdasarkan nilai bahan organik dan nilai klor aktif tersebut, volume larutan kaporit yang dibubuhkan dalam perlakuan sampel dihitung berdasarkan persamaan 3.

$$N1 \times V1 = N2 \times V2 \quad (3)$$

di mana :

V1 = Volume sampel yang digunakan (150 mL)

N1 = Dosis kaporit yang diinginkan berdasarkan kadar bahan organik awal (mg/L)

V2 = Volume larutan kaporit yang di cari (x mL)

N2 = Nilai klor aktif dalam larutan kaporit (mg/L)

3. Pengukuran kurva BPC

Setelah konsentrasi dosis kaporit ditentukan, kemudian 200 mL sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL dan masing-masing diberi kaporit sebesar dosis tersebut dan diinkubasikan pada suhu ruang selama 30 menit. Sisa klor aktif dalam sampel diukur dengan natrium thiosulfat seperti pada langkah 2. Berdasarkan sisa klor aktif tersebut kemudian dibuat kurva *breakpoint chlorination* (BPC).

4. Uji *Most Probable Number* (MPN) bakteri koliform

Berdasarkan jumlah tabung reaksi yang positif, kemudian MPN dihitung dengan melihat Tabel MPN baku dan jumlah bakteri *coliform* dihitung dengan persamaan 4 (Shovitri et al., 2011)

$$\text{MPN} / 100 \text{ ml} = \text{nilai MPN} \times \text{faktor pengenceran} \quad (4)$$

Tabel 3. 1 menjelaskan rincian durasi waktu pengambilan sampel dari tiap parameter yang akan diukur.

Tabel 3. 1 Durasi Pengambilan Sampel

No	Parameter	Durasi Pengambilan Sampel	Tujuan
1	pH	Setiap hari	Menentukan tingkat keasaman sampel
2	BOD ₅	Awal dan aakhir penelitian	Menentukan penurunan bahan organik selama proses berlangsung
3	COD	Setiap hari, 12 jam sekali	Menentukan tingkat degradasi senyawa organik
4	DO	Setiap hari, 12 jam sekali	Menentukan kecukupan oksigen dalam reaktor
5	Nitrat	1 kali di awal dan 1 kali di akhir penelitian	Mengetahui kadar nitrat
6	Ammonia	Setiap hari, 12 jam sekali	Menentukan penurunan nutrient selama proses berlangsung
7	MLSS	1 kali di awal dan 3 kali di akhir penelitian	Menentukan jumlah biomassa
8	<i>Coliform</i>	diawal dan akhir penelitian	Menentukan penurunan <i>coliform</i>
9	Fosfat	1 kali di awal dan 3 kali di akhir penelitian	Menentukan penurunan konsentrasi fosfat
10	TKN	1 kali di awal penelitian	Mengetahui jumlah nitrogen yang terikat pada organik secara total

Reaktor yang digunakan berjumlah 9 reaktor sesuai dengan variasi 3 waktu aerasi dan 3 konsentrasi beban organik. Penelitian dilakukan selama 20 hari sesuai dengan kriteria desain umur lumpur pada proses *extended aeration*. Jumlah reaktor dihitung berdasarkan faktorial penelitian pada Tabel 3. 2

Tabel 3. 2 Matrik proses aerobik dengan konsentrasi beban organik

Waktu Aerasi (jam)	Konsentrasi Beban Organik		
	300 mg COD/L	400 mg COD/L	500 mg COD/L
12	A1	A2	A3
24	B1	B2	B3
48	C1	C2	C3

3.8 Metode Analisis Sampel dan Data

Parameter yang dianalisis pada penelitian meliputi COD, ammonia, BOD₅, MLSS, DO, *coliform*, fosfat, nitrat, PV, TKN dan pH. Metode analisis untuk parameter COD, amonium, fosfat, BOD₅, dan TSS mengacu pada *standar method* (Greenberg *et al.*, 2005).

1. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisis COD dilakukan setiap 12 jam sekali. Analisis ini bertujuan untuk menentukan degradasi organik pada masing-masing reaktor, sehingga diketahui konsentrasi dan durasi proses yang paling efektif untuk menurunkan konsentrasi COD. Metode analisis yang digunakan adalah *closed reflux*.

2. Analisis *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Analisis BOD dilakukan berbeda-beda pada setiap sampel uji berdasarkan waktu aerasinya seperti pada Tabel 3. 3. Hasil analisis BOD yang didapat, diketahui rasio BOD/COD, sehingga dapat ditentukan tingkat biodegradasi limbah.

3. *Dissolved Oxygen (DO)*

Dissolved Oxygen (DO) diukur dengan DO meter. Pengukuran DO dilakukan saat proses aerobik. Analisis DO bertujuan untuk mengetahui kecukupan oksigen di dalam reaktor dan untuk memverifikasi proses yang terjadi di dalam reaktor.

4. Analisis pH

Analisis nilai pH diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* (pH meter) dengan menggunakan alat *Basic pH meter-03771 Denver Instrument*. Tujuan dari analisis pH adalah untuk menganalisis kondisi keasaman sampel.

5. Analisis *Phospate*

Analisis fosfat dilakukan dengan menambahkan *Amonium Molibdate* dan Klorid Timah kemudian dilakukan pembacaan absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer visual.

6. Analisis MPN *Coliform*

Untuk mengetahui jumlah *Coliform* didalam contoh akan digunakan metode MPN (*Most Probable Number*). Pada uji penduga, tabung reaksi yang berisi *Lactose Brooth* (LB) yang menunjukkan hasil positif, diinkubasi pada tabung berisi media *Brilliant Green Lactose Brooth* (BGLBB) 2% dan tabung Durham untuk uji konfirmasi. MPN bakteri *coliform* dihitung berdasarkan jumlah tabung yang positif pada uji konfirmasi.

7. Analisis Ammonia

Analisis nitrogen terdiri dari analisis amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen, untuk parameter yang dilakukan analisis setiap hari. Ammonium-nitrogen dianalisis dengan menggunakan *Nesslerization Method* yang dilakukan dengan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu. Selengkapny parameter yang akan diukur teringkas pada Tabel 3.3

Tabel 3. 3 Metode dan Standar Pengukuran Parameter

Analisis	Tujuan	Metode	Standar
BOD ₅	Menentukan penurunan bahan organik selama proses berlangsung	Metode Iodometri (Winkler)	SNI 6989.72:2009
COD	Menentukan tingkat degradasi senyawa organik	<i>Closed Reflux</i>	SNI 6989.73:2009
DO	Menentukan kecukupan oksigen dalam reaktor	Metode Iodometri (Winkler)	SNI 06-6989.14-2004
Ammonia	Menentukan penurunan nutrisi selama proses berlangsung	Metode Spektrometri (<i>Nessler</i>)	SNI 6989.30-2005
Nitrat	Menentukan kadar nitrat	Metode Spektrometri (reduksi cadmium)	SNI 6989.79:2011
MLSS	Menentukan jumlah biomassa	Gravimetri	SNI 06-6989.3-2004
<i>Coliform</i>	Menentukan penurunan <i>coliform</i>	MPN	SNI 01-2332.1-2006

Analisis	Tujuan	Metode	Standar
Fosfat	Menentukan penurunan konsentrasi fosfat	Metode <i>Ammonium Molibdennum</i>	SNI 06-6989.31-2005
TKN	Mengetahui jumlah nitrogen yang terikat pada organik secara total	Distilasi kjeldahl secara titrasi	SNI 4146:2013

3.9 Metode Analisis Data

Analisis data dan pembahasan dalam penelitian ini mencakup :

1. Dosis terbaik untuk proses desinfeksi dalam menurunkan kandungan *coliform* pada efluen biologis. Analisis dibuat dalam bentuk tabel, grafik dan interpretasi yang diperkuat dengan analisis statistik deskriptif.
2. Durasi terbaik proses aerobik pada pengolahan limbah dengan sistem *extended aeration* dan pengaruh beban organik dengan waktu aerasi. Analisis dilakukan dengan uji pada beberapa parameter yang berpengaruh terhadap penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan proses pengolahan biologis dengan sistem *suspended growth* dan dijalankan secara *batch intermittent*. Tahap utama dalam penelitian ini adalah pengujian efisiensi ter-*removal* kandungan organik dan nitrogen dalam air limbah dengan berbagai variasi konsentrasi. Reaktor dijalankan dengan kondisi aerobik dengan berbagai variasi waktu aerasi yang telah ditentukan.

4.1 Analisis Awal Karakteristik Limbah

Analisis awal dilakukan pengujian terhadap karakteristik air limbah domestik dari unit *Balancing Tank* di IPLT Keputih. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi senyawa organik yang akan diolah sehingga memudahkan dalam penentuan variasi konsentrasi yang akan digunakan. Parameter yang diuji dalam analisis awal adalah parameter utama dan parameter tambahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu COD, ammonia, nitrat, TKN, pH dan *coliform*. Uji karakteristik awal dilakukan untuk karakteristik lumpur yang akan dijadikan sebagai sumber mikroorganisme. Hal ini dilakukan untuk mengetahui besar konsentrasi padatan tersuspensi yang ada pada lumpur. Sehingga memudahkan dalam menentukan angka pengenceran konsentrasi sesuai dengan yang dibutuhkan. Analisis awal lumpur yang dilakukan adalah dengan pengujian MLSS. Hasil analisis awal karakteristik air limbah domestik dapat dilihat pada tabel 4.1

**Tabel 4. 1 Hasil analisis karakteristik awal limbah unit
blancing tank dan *return activated sludge***

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	COD	mg/L	1497
2	Ammonia	mg/L	71,75
3	Nitrat	mg/L	7,3
4	pH	-	7,3

No	Parameter	Satuan	Nilai
5	MLSS	mg/L	17600
6	TKN	mg/L	133

4.2 **Seeding dan Aklimatisasi**

Seeding dan aklimatisasi merupakan tahapan awal untuk keberlangsungan proses pengolahan limbah. Pada proses *seeding* dilakukan memberikan sumber organik pada mikroorganisme yang berasal dari sampel dan sumber organik tambahan yang berasal dari sukrosa. Sedangkan aklimatisasi bertujuan untuk mendapatkan suatu keadaan kultur mikroorganisme yang stabil dan mampu mendegradasi sumber organik yang hanya berasal dari limbah. Lumpur aktif yang digunakan berasal dari unit *Return Activated Sludge* IPLT Keputih. Proses pengolahan biologis sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas bibit biomassa yang digunakan. Tahap selanjutnya adalah memasukan lumpur aktif ke dalam masing-masing reaktor sesuai kebutuhan yaitu 4000 mg/L.

Pada proses *seeding*, air limbah dan lumpur dicampur di dalam reaktor serta di aerasi selama 7 hari. Sumber organik yang digunakan terdiri dari 50% air limbah dan 50% sukrosa yang berasal dari gula pasir. Jumlah gula pasir yang digunakan terdapat pada Lampiran B. Proses *seeding* dilanjutkan dengan proses aklimatisasi selama 7 hari. Proses aklimatisasi menggunakan sumber organik yang diganti dengan 100% air limbah. Aklimatisasi dilakukan hingga mencapai kondisi *steady state* yang ditandai dengan penyisihan COD sebanyak 80% atau lebih. Pengukuran COD dilakukan dua hari sekali selama proses aklimatisasi berlangsung.

Hasil analisis COD pada tahap aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Konsentrasi COD pada Tahap Aklimatisasi

REAKTOR	Hari 1	Hari 3	Hari 5	Hari 7	<i>Removal (%)</i>
300/12	940	640	400	120	87,23
300/24	880	760	700	200	77,27
300/48	980	740	680	160	83,67
400/12	1040	620	520	200	80,77
400/24	920	620	600	200	78,26
400/48	840	680	560	200	76,19
500/12	1040	720	660	160	84,62
500/24	1240	840	720	240	80,65
500/48	1080	660	560	200	81,48

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa rata-rata penyisihan COD sudah mencapai lebih dari 80% pada hari ke-7 aklimatisasi. Sehingga dapat dikatakan proses aklimatisasi sudah mencapai kondisi *steady state*. Setelah proses aklimatisasi selesai, dilakukan proses *decanting* (penuangan efluen), sehingga di dalam reaktor hanya tertinggal lumpur yang sudah teraklimatisasi. Selanjutnya lumpur akan digunakan untuk mengolah air limbah pada penelitian utama.

4.3 Penelitian Utama

Penelitian pendahuluan dimulai dengan membuat kurva kalibrasi ammonium-nitrogen, nitrat-nitrogen dan fosfat (Lampiran C). Analisis awal juga dilakukan pada lumpur RAS menggunakan *settleability solids test*, dimana hasilnya menunjukkan waktu pengendapan yang dibutuhkan untuk mengendapkan 1 L RAS dengan konsentrasi MLSS 4000 mg/L. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mengendapkan 1 L lumpur adalah selama 1 jam dengan total endapan sebanyak 120 ml. hal ini menunjukkan bahwa dalam setiap reaktor dengan kapasitas 5 L

akan dimasukan sebanyak 1,2 L lumpur dengan lama waktu pengendapan selama 1 jam.

Pelaksanaan penelitian terbagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama adalah penelitian mengenai modifikasi proses lumpur aktif, pada tahap ini digunakan 9 reaktor. Kapasitas pengolahan setiap reaktor sebesar 5 L yang terdiri dari 1,2 L lumpur dan 3,8 L air limbah domestik dengan konsentrasi COD masing-masing adalah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L. Variasi konsentrasi tersebut berdasarkan pada kategori konsentrasi beban organik air limbah domestik rendah, sedang dan tinggi. Pengolahan air limbah di dalam reaktor di operasikan dengan 3 waktu aerasi yaitu konvensional (12 jam), batas *extended* (24 jam) dan *extended aeration* (24 jam). Penelitian ini dilakukan menggunakan sistem *batch intermittent* selama 20 hari. Pengoperasian reaktor menggunakan pompa *submersible* sebagai pengaduk dan aerator untuk menyuplai kebutuhan oksigen selama proses pengolahan. Parameter yang dianalisis diantaranya COD, BOD, DO, pH, amonium, nitrat, fosfat, TKN, coliform dan MLSS. Berikut ini adalah gambar reaktor yang digunakan selama penelitian



Gambar 4. 1 Reaktor penelitian

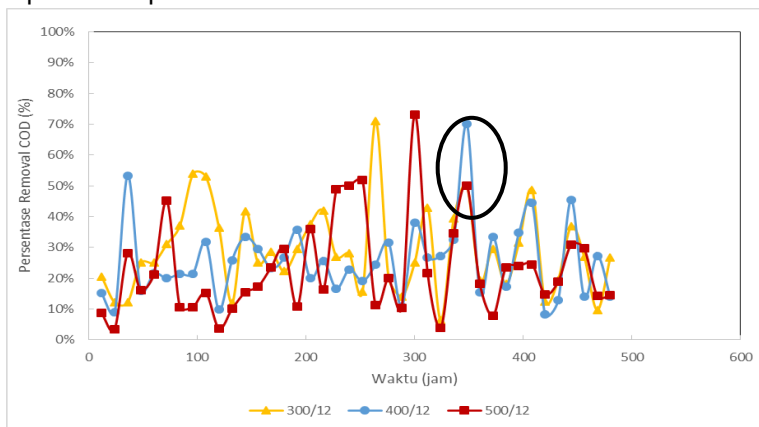
Tahap kedua pada penelitian ini adalah analisis dosis desinfektan terbaik. Desinfektan yang digunakan adalah kaporit / $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Sebelum menentukan dosis desinfektan, dilakukan 1

kali *intermittent* dengan proses yang sama pada tahap pertama. Sampel air limbah domestik dari hasil pengolahan dilakukan analisis BPC, konsentrasi ammonium dan total *coliform*. Tahap selanjutnya dilakukan proses desinfeksi dengan beberapa variasi dosis desinfektan untuk mencari dosis terbaik.

4.4 Hasil Penyisihan Konsentrasi COD

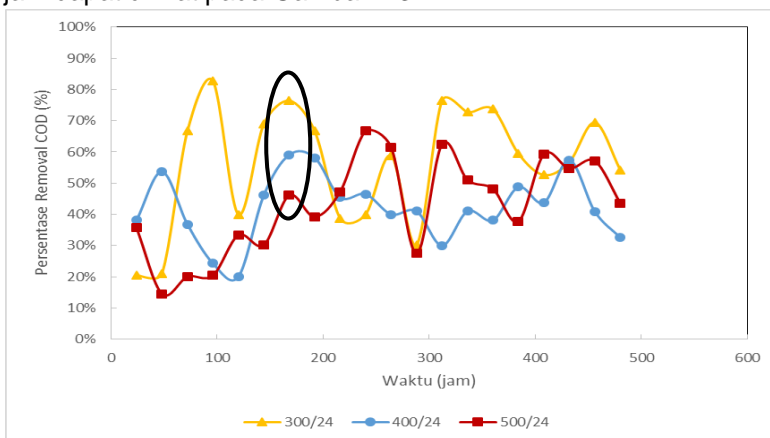
Lumpur aktif merupakan proses pengolahan air limbah secara biologis yang melibatkan berbagai reaksi metabolisme mikroorganisme. Prinsip pengolahan limbah secara biologis dengan memanfaatkan aktivitas mikroba yang akan menguraikan limbah organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (Doraja *et al.*, 2012).

Durasi aerasi 12 jam menghasilkan *removal* COD tertinggi pada hari ke 14, *intermittent* ke 28, dimana *removal* pada konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L yaitu sebesar 50%, 70%, dan 50%. Penurunan efisiensi *removal* dapat disebabkan oleh tingginya/peningkatan konsentrasi ammonia, sehingga bakteri sulit untuk mendegradasi zat organik (COD). *Removal* konsentrasi COD pada durasi aerasi 12 jam dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Persentase *removal* parameter COD (12 jam)

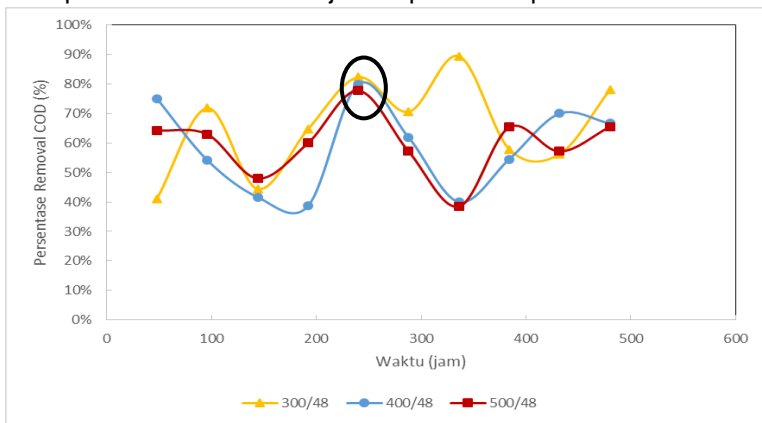
Durasi aerasi 24 jam menghasilkan *removal* COD tertinggi pada hari ke 7, *intermittent* ke 7, dimana *removal* pada konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L yaitu sebesar 76%, 59%, dan 46%. Konsentrasi beban organik yang rendah (COD 300 mg/L) lebih mudah terdegradasi oleh mikroorganisme dari pada konsentrasi yang lebih tinggi (COD 500 mg/L). Rata-rata *removal* COD dengan waktu aerasi 24 jam adalah 47%. Durasi aerasi 24 jam menghasilkan *removal* COD lebih tinggi dari waktu aerasi 12 jam. *Removal* konsentrasi COD pada durasi aerasi 24 jam dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Persentase *removal* parameter COD (24 jam)

Durasi aerasi 48 jam menghasilkan *removal* COD tertinggi pada hari ke 10, *intermittent* ke 5, dimana *removal* pada konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L yaitu sebesar 82%, 80%, dan 78%. Rata-rata *removal* COD pada waktu 48 jam sebesar 61%. Durasi aerasi 48 jam menghasilkan *removal* COD lebih tinggi dari waktu aerasi 12 dan 24 jam. *Removal* COD pada waktu 48 jam cenderung lebih stabil. Penurunan COD semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengolahan, dimana waktu detensi yang

cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah. Hari ke 1, ke 10, dan ke 20 menghasilkan *removal* yang tinggi, sedangkan hari ke 6 dan ke 14 terjadi penurunan *removal* COD. Kenaikan dan penurunan *removal* dapat diakibatkan dari proses *intermittent*, dimana terjadi akumulasi dari beban organik yang belum terolah semua dari proses sebelumnya. Pertumbuhan mikroorganisme juga dapat mempengaruhi peningkatan *removal* COD. *Removal* konsentrasi COD pada durasi aerasi 48 jam dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Persentase *removal* parameter COD (48 jam)

Penentuan kemampuan reaktor dalam mengoksidasi zat organik pada limbah dapat dilihat berdasarkan efisiensi *removal* COD yang terjadi dalam proses aerobik. Gambar 4.3 dan 4.4 memperlihatkan bahwa *removal* COD berbanding terbalik dengan konsentrasi COD, semakin rendah konsentrasi air limbah maka *removal* semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme pada penelitian ini lebih optimum mendegradasi senyawa organik pada konsentrasi organik rendah. Penurunan efisiensi *removal* pada Gambar 4.2 dapat disebabkan oleh tingginya/peningkatan konsentrasi ammonia, sehingga bakteri sulit untuk mendegradasi zat organik (COD). Persentase *removal* COD

pada durasi waktu 48 jam menunjukkan rata-rata hasil *removal* yang paling tinggi, sedangkan *removal* COD paling rendah terjadi pada durasi waktu 12 jam. Hal ini berbanding lurus dengan ketersediaan oksigen yang lebih banyak akibat waktu aerasi yang lebih lama. Persentase *removal* yang tinggi juga dipengaruhi oleh jumlah zat organik yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai substrat.

4.5 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen

Analisis nitrogen pada penelitian ini diantaranya ammonium-nitrogen, nitrat-nitrogen dan total nitrogen (TKN). Analisis ammonia dan nitrat dilakukan setiap hari pada akhir waktu durasi proses aerasi sedangkan analisis TKN dilakukan pada awal penelitian untuk menentukan karakteristik air limbah. Analisis ammonium-nitrogen dilakukan dengan menggunakan metode *nessler*, analisis nitrat dilakukan dengan menggunakan metode *brucine acetat* dengan pembacaan absorbansi menggunakan spektrofotometer, analisis TKN dilakukan menggunakan tabung Kjeldahl.

Penyisihan total nitrogen sebagai amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen salah satunya didapatkan melalui proses aerobik. Pada kondisi aerobik akan terjadi proses nitrifikasi dimana amonium akan diubah menjadi nitrat melalui senyawa perantara nitrit. Selain proses nitrifikasi, penurunan nitrogen juga dapat diakibatkan oleh pengambilan senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme (asimilasi) dan penguapan (volatilisasi).

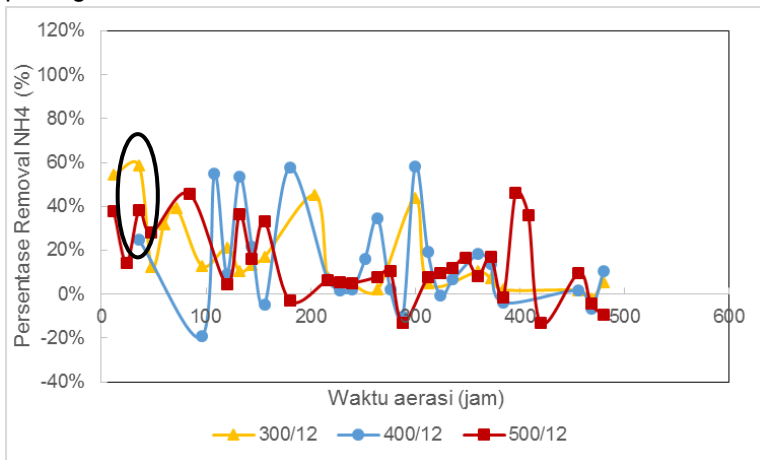
4.5.1 Hasil Penyisihan Amonium-Nitrogen (NH₄-N)

Penurunan konsentrasi ammonium dipengaruhi oleh adanya proses nitrifikasi yang terjadi pada kondisi aerobik. Proses nitrifikasi yaitu nitrogen organik yang diubah menjadi nitrat, dengan melibatkan mikroorganisme dalam kondisi aerobik atau dalam bentuk reaksi total oksidasi seperti berikut:



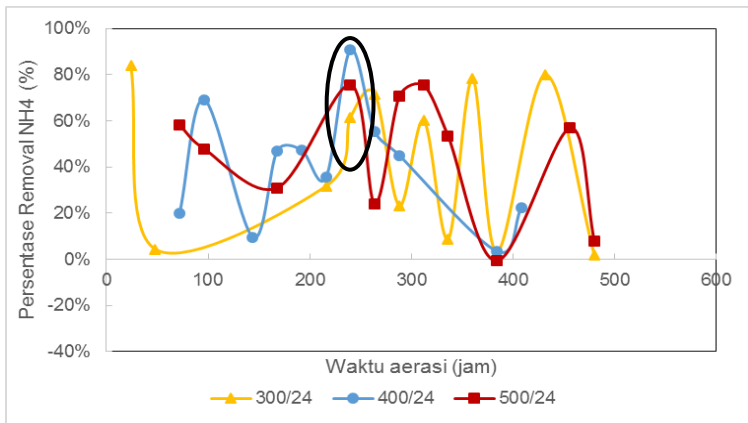
(Metcalf and Eddy, 2003)

Durasi aerasi yang berbeda menunjukkan perbedaan penyisihan amonium-nitrogen. *Removal* ammonium tertinggi pada durasi 12 jam terjadi pada hari ke 2, dimana konsentasi COD 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L menghasilkan *removal* sebesar 58%, 24%, dan 38%. Waktu aerasi yang pendek (12 jam) dan lama proses pengolahan *intermittent* selama 20 hari memungkinkan terjadinya akumulasi ammonia di dalam reaktor, sehingga efisiensi *removal* menjadi sangat fluktuatif. Berikut ini hasil pengukuran *removal* ammonium variasi waktu aerasi 12 jam pada gambar 4.5.



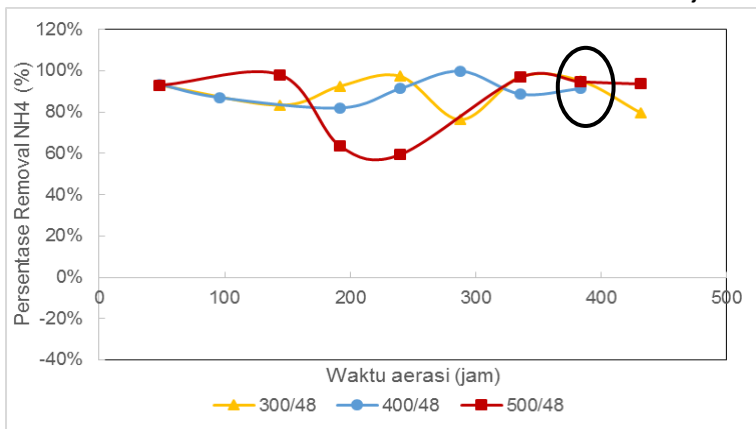
Gambar 4. 5 Persentase *removal* ammonium (12 jam)

Removal ammonium tertinggi pada durasi 24 jam terjadi pada hari ke 10, dimana konsentasi COD 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L menghasilkan *removal* sebesar 62%, 91%, dan 76%. Fluktuatifnya grafik yang dihasilkan dapat disebabkan oleh proses *intermittent*, atau terjadinya proses penguraian zat organik yang tinggi. Gambar 4.6 menunjukkan hasil efisiensi *removal* ammonium variasi waktu aerasi 24 jam.



Gambar 4. 6 Persentase *removal* ammonium (24 jam)

Removal ammonium tertinggi pada durasi 48 jam terjadi pada hari ke 16, dimana konsentrasi COD 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L menghasilkan *removal* sebesar 95%, 91%, dan 95%. Proses nitrifikasi dan asimilasi mikroorganisme terjadi lebih lama pada waktu aerasi 48 jam, sehingga *removal* yang dihasilkan tinggi dan cenderung lebih stabil fluktuasinya. Gambar 4.7 menunjukkan hasil efisiensi *removal* ammonium variasi waktu aerasi 48 jam.

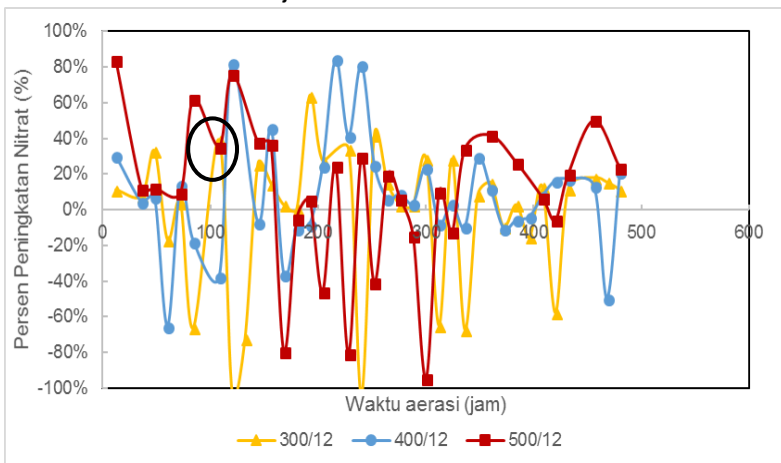


Gambar 4. 7 Persentase *removal* ammonium (48 jam)

Penurunan nilai ammonium paling optimum terjadi pada reaktor dengan beban organik 300 mg/L dan durasi aerasi 48 jam. Durasi aerasi yang lama menyebabkan meningkatnya proses nitrifikasi dan ketersediaan oksigen di dalam reaktor. Waktu aerasi yang lama digunakan oleh mikroorganisme untuk berkembangbiak (asimilasi) dan mendegradasi ammonium.

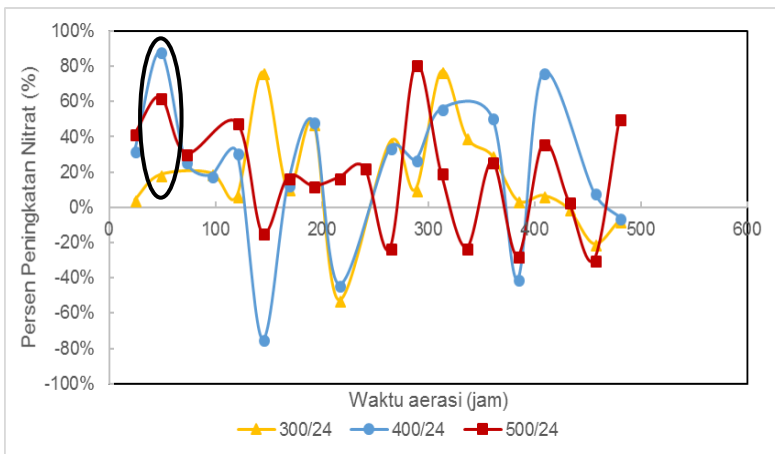
4.5.2 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Pembentukan nitrat-nitrogen merupakan hasil dari proses nitrifikasi. Konsentrasi nitrat bertambah pada saat nitrifikasi (Suganda *et al.*, 2014). Pembentukan nitrat berlangsung optimum pada pH 7,0-8,3, hal ini sesuai dengan pH optimum pada penelitian ini. Durasi proses 12 jam dalam kondisi aerobik terjadi peningkatan konsentrasi nitrat-nitrogen paling optimum pada hari ke 7 dengan konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L, dan 500 mg/L yaitu masing-masing sebesar 14,76%, 46,09% dan 37,27%. Gambar 4.8 menunjukkan hasil persen peningkatan nitrat pada variasi waktu aerasi 12 jam.



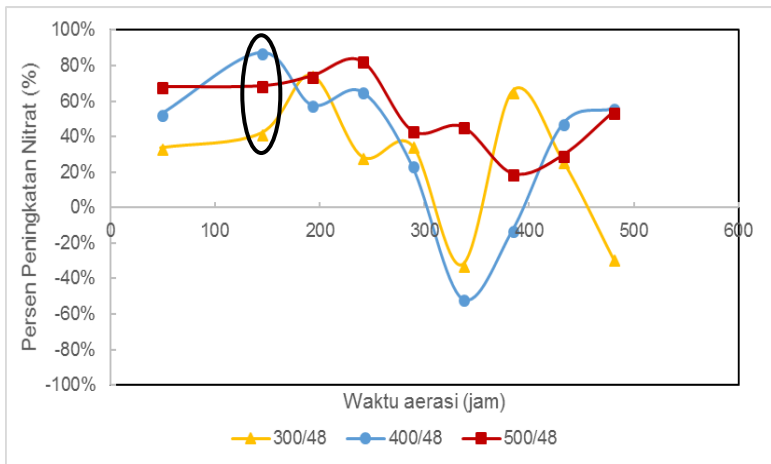
Gambar 4. 8 Persen peningkatan nitrat (12 jam)

Durasi proses 24 jam dalam kondisi aerobik terjadi peningkatan konsentrasi nitrat-nitrogen paling optimum pada hari ke 2 dengan konsentarsi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L, dan 500 mg/L yaitu masing-masing sebesar 19%, 88% dan 63%. Penurunan dan kenaikan nitrat pada waktu 24 jam lebih stabil jika dibandingkan dengan waktu aerasi 12 jam. Hal ini dikarenakan proses *intermittent* pada waktu aerasi 24 jam lebih sedikit dari waktu aerasi 12 jam. Gambar 4.9 menunjukan hasil persen peningkatan nitrat pada variasi waktu aerasi 24 jam.



Gambar 4. 9 Persen peningkatan nitrat (24 jam)

Durasi proses 48 jam dalam kondisi aerobik terjadi peningkatan konsentrasi nitrat-nitrogen paling optimum pada hari ke 8 dengan konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L, dan 500 mg/L yaitu masing-masing sebesar 75%, 58% dan 74%. Penurunan konsentrasi nitrat dapat disebabkan akibat terjadinya proses denitrifikasi, dimana DO pada saat kondisi tersebut tidak cukup memenuhi untuk proses nitrifikasi. Gambar 4.10 menunjukan hasil persen peningkatan nitrat pada variasi waktu aerasi 48 jam.



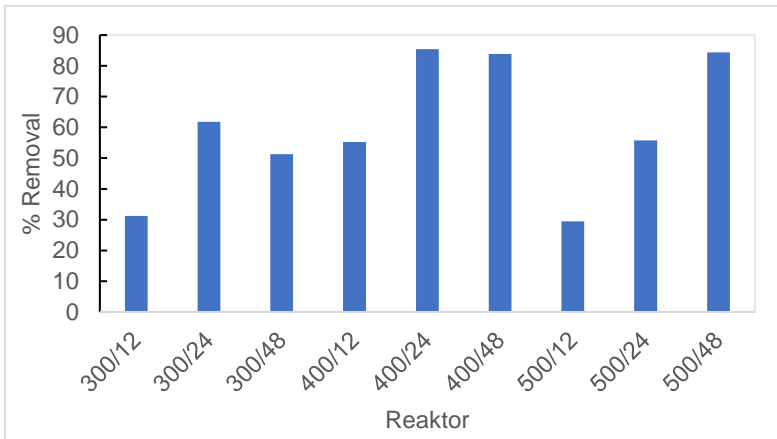
Gambar 4. 10 Persen peningkatan nitrat (48 jam)

Persen peningkatan nitrat paling tinggi pada waktu aerasi 48 jam, sedangkan peningkatan nitrat paling rendah terjadi pada waktu aerasi 12 jam. Peningkatan konsentrasi nitrat yang tinggi terjadi pada awal penelitian (hari ke 2-8). Mikroorganisme dari hasil aklimatisasi aktif menguraikan ammonia menjadi nitrat (nitrifikasi) di awal penelitian, sedangkan pada masa akhir penelitian tetap terjadi nitrifikasi tetapi sangat sedikit. Hal ini dimungkinkan pada masa mendekati 20 hari, mikroorganisme lebih mudah menguraikan C dari pada N.

4.6 Analisis BOD dan BOD/COD

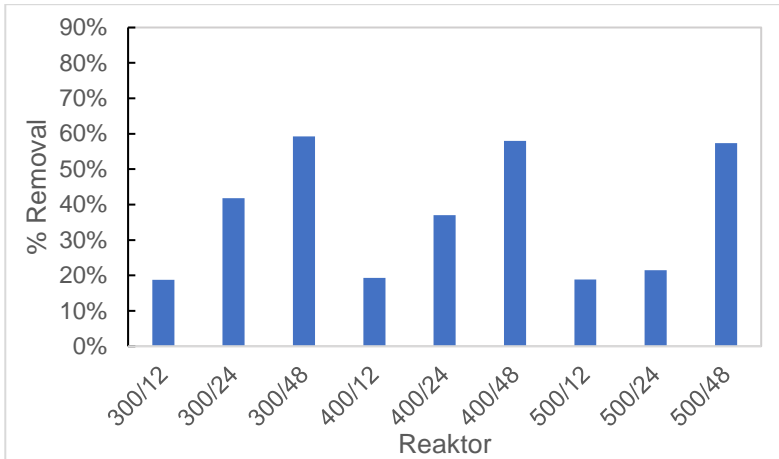
BOD merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini sehingga analisisnya dilakukan hanya pada *intermittent* awal dan akhir selama penelitian. Nilai BOD yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai BOD₅. Hasil analisis awal menunjukkan konsentrasi BOD pada sampel mengalami penurunan seperti halnya parameter COD. Meski demikian, konsentrasi BOD di dalam sampel masih tergolong rendah. Data pengukuran untuk

persentase *removal* parameter BOD₅ secara detail dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12



Gambar 4. 11 Persentase *removal* BOD₅ Awal

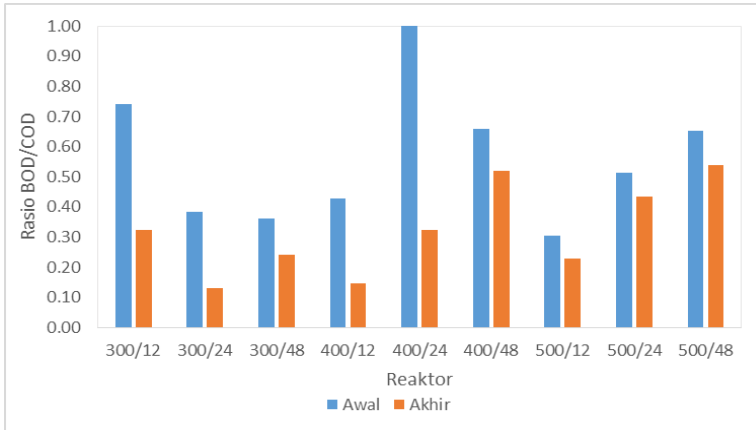
Hasil *removal* BOD₅ awal, menunjukan bahwa reaktor dengan waktu aerasi 48 jam rata-rata menghasilkan *removal* yang tinggi. Konsentrasi COD air limbah 500 mg/L menunjukan peningkatan *removal* BOD pada setiap tingkat waktu aerasi. Waktu aerasi yang lebih lama menghasilkan kecukupan oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme sehingga mampu mendegradasi beban organik lebih banyak. Konsentrasi BOD yang rendah dapat disebabkan karena konsentrasi ammonia yang tinggi pada sampel di setiap reaktor sehingga dapat bersifat toksik. *Removal* BOD yang tinggi pada reaktor 300/24 dan 400/24 disebabkan oleh tingginya *removal* ammonia pada durasi aerasi 24 jam. Beban organik lebih mudah terdegradasi dari beban anorganik, sehingga saat *removal* ammonia tinggi maka *removal* beban organik akan lebih tinggi.



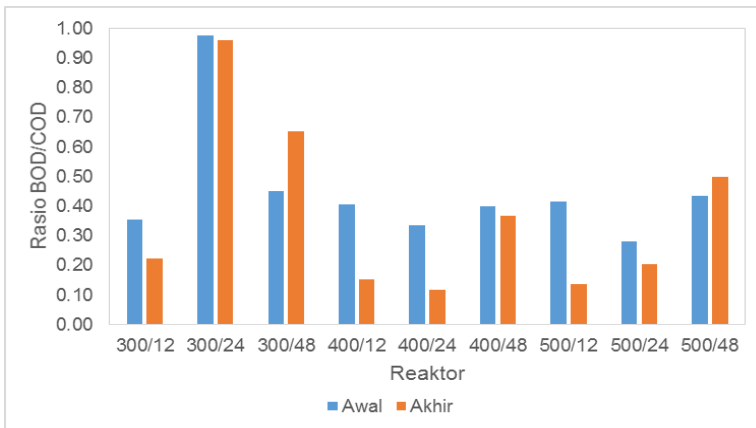
Gambar 4. 12 Persentase *removal* BOD₅ Akhir

Pengukuran BOD₅ pada *intermittent* akhir menunjukkan peningkatan *removal* BOD yang sesuai dengan tingkatan waktu aerasinya. Waktu aerasi 48 menghasilkan *removal* tertinggi, sedangkan waktu aerasi 12 jam menghasilkan *removal* BOD dengan rata-rata yang rendah. Lama waktu aerasi memberikan waktu kontak bagi mikroorganisme untuk lebih mendegradasi air limbah. Konsentrasi COD yang tinggi akan menghasilkan konsentrasi BOD yang tinggi. Penyisihan BOD akhir pada waktu aerasi 12 jam menghasilkan *removal* yang sama pada setiap variasi COD, hal ini dapat diakibatkan karena persen *removal*/COD yang sama pada konsentrasi COD yang berbeda. *Removal* COD akhir dalam penelitian ini berturut-turut yaitu 27%, 14%, 14%. *Removal* BOD pada sampel 300/12 seharusnya lebih tinggi dari konsentrasi 400 dan 500 mg/L. Rendahnya penyisihan pada sampel 300/12 dapat diakibatkan oleh kontaminasi sampel atau rendahnya bakteri/mikroorganisme yang terkandung selama proses penyisihan sehingga menghasilkan *removal* yang rendah.

Indikator yang biasa digunakan untuk menunjukkan derajat biodegradasi air limbah adalah rasio BOD/COD. Hasil analisis rasio BOD/COD dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14



Gambar 4. 13 Rasio BOD/COD Awal setiap reaktor

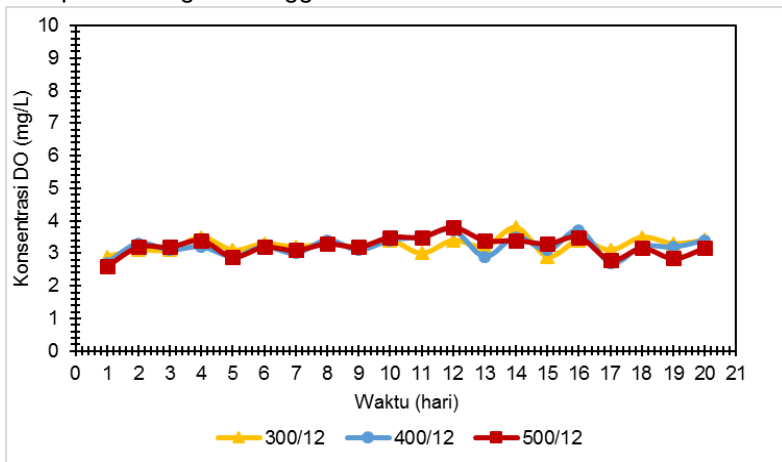


Gambar 4. 14 Rasio BOD/COD Akhir setiap reaktor

Berdasarkan hasil analisis rasio BOD/COD awal *intermittent* pertama, rasio tertinggi terdapat pada reaktor dengan variasi konsentrasi 400 COD mg/L dan waktu aerasi 24 jam yang menunjukkan nilai 1, hal ini menandakan bahwa air limbah domestik yang digunakan tergolong limbah *biodegradable*. Rasio BOD/COD yang tinggi menunjukkan air limbah yang *biodegradable* sehingga akan mempermudah proses biodegradasi. Tingkat penurunan oleh mikroba dapat dievaluasi dengan rata-rata hasil bagi biodegradabilitas yang terukur sebagai rasio BOD/COD.

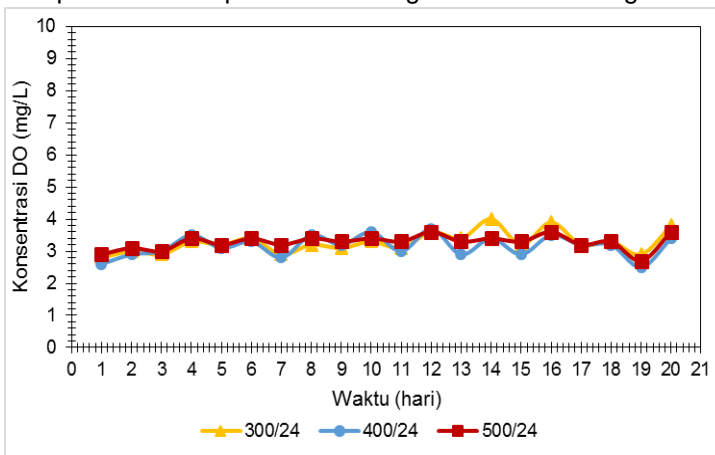
4.7 Analisis Disolved Oxygen

Oksigen terlarut (DO) berperan untuk mengoksidasi komponen-komponen kimia menjadi lebih sederhana serta dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk proses metabolisme tubuhnya. DO minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun. Pengukuran DO dilakukan setiap hari dengan menggunakan alat DO meter.



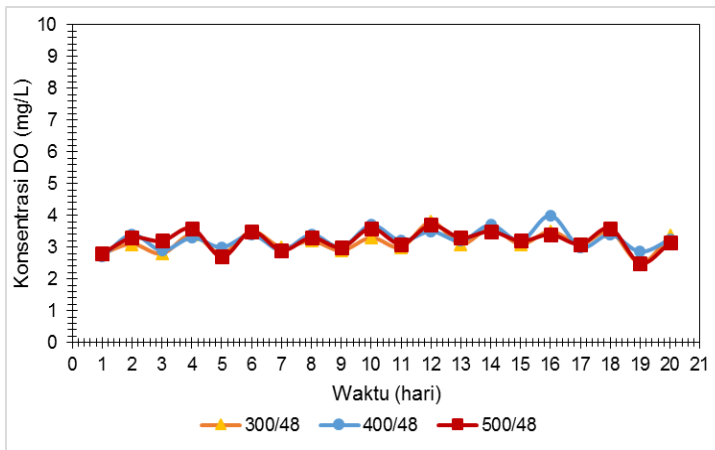
Gambar 4. 15 Hasil pengukuran DO (12 jam)

Berdasarkan Gambar 4.15 konsentrasi DO pada kondisi aerobik yaitu sebesar 2,6 mg/L- 3,85 mg/L. DO pada durasi aerasi 12 jam menunjukkan bahwa setiap reaktor sudah berada pada kondisi untuk proses nitrifikasi. Konsentrasi DO paling rendah terjadi pada awal *intermittent* di setiap reaktornya dan meningkat hingga akhir proses *intermittent*. Terlarutnya oksigen di dalam air limbah cenderung berubah-ubah, karena kelarutan oksigen sangat dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, difusi oksigen dari udara, dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme.



Gambar 4. 16 Hasil pengukuran DO (24 jam)

Gambar 4.16 menunjukkan durasi proses aerobik 24 jam memiliki DO dengan konsentrasi yang sudah sesuai untuk proses nitrifikasi. Konsentrasi DO pada reaktor 24 jam yaitu 2,6 mg/L- 4 mg/L. Peningkatan konsentrasi DO di dalam reaktor dapat terjadi karena proses aerasi secara kontinyu, walaupun terjadi degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme yang membutuhkan oksigen.

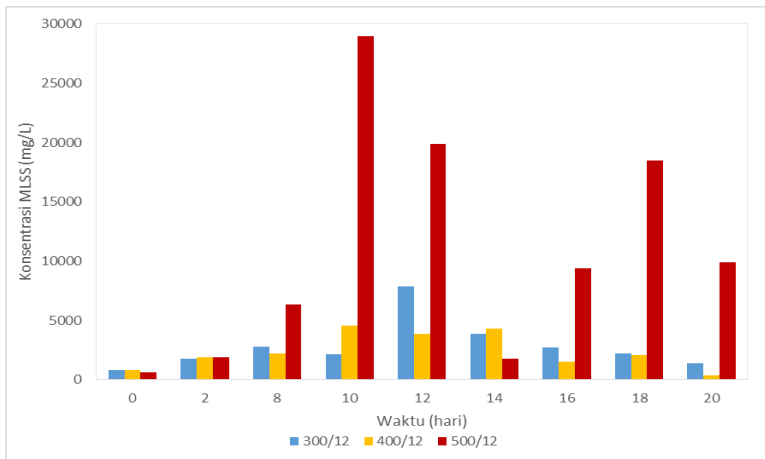


Gambar 4. 17 Hasil pengukuran DO (48 jam)

Gambar 4.17 menunjukkan hasil pengukuran DO pada durasi proses aerobik 48 jam. DO dengan konsentrasi 2,5 mg/L- 4 mg/L sudah sesuai untuk proses nitrifikasi. Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, dimana salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu konsentrasi oksigen terlarut. Rata-rata DO pada proses aerobik adalah 2-4 mg/L. Menurut Titiresmi dan Nida Sopiah, 2006, proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan baik ketika konsentrasi DO > 2 mg/L.

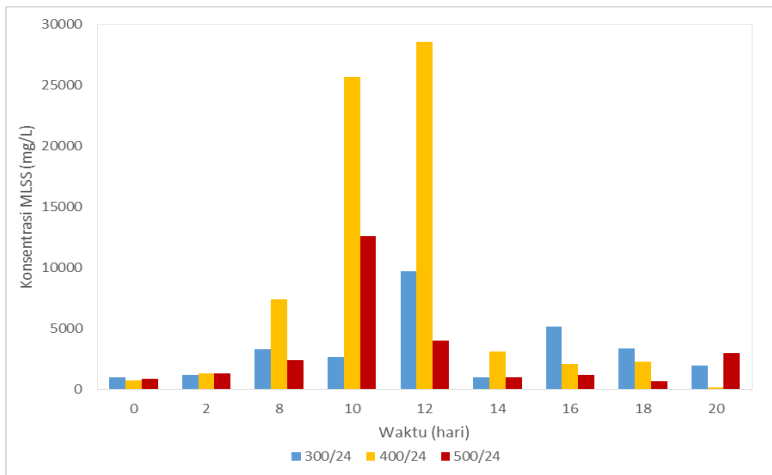
4.8 Analisis MLSS

MLSS (*Mixed-liquor suspendes solid*) merupakan jumlah total padatan tersuspensi. Reaktor yang mengaplikasikan proses aerobik memungkinkan untuk memproduksi lumpur. Proses aerobik dapat meningkatkan konsentrasi MLSS yang disebabkan perkembangbiakan mikroorganisme. MLSS mengalami kenaikan tertinggi pada hari ke 10 dan kembali turun konsentrasinya hingga hari ke 20. Gambar 4.18 sampai 4.20 menunjukkan kenaikan dan penurunan konsentrasi MLSS.



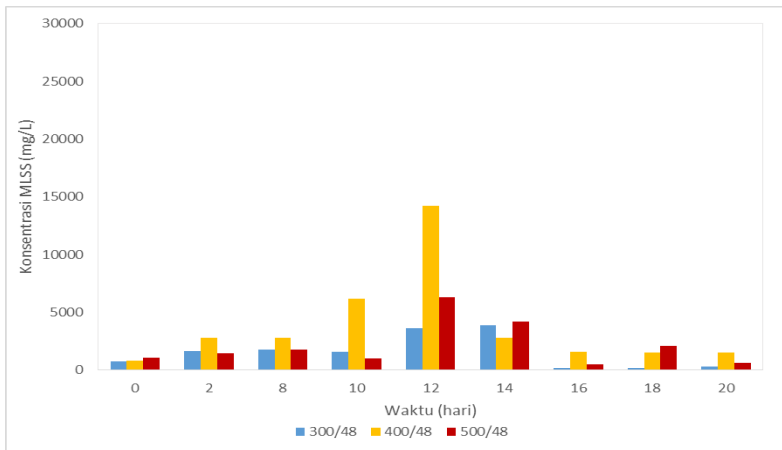
Gambar 4. 18 Konsentrasi MLSS reaktor dengan durasi waktu 12 jam

Proses aerasi dengan waktu 12 jam selama 20 hari menyebabkan terjadinya 40 kali *intermittent*. Pergantian air limbah yang terlalu sering membuat mikroorganisme harus selalu beradaptasi dengan limbah yang baru. Hasil pengukuran MLSS menunjukkan rata-rata kenaikan konsentrasi dari hari pertama hingga hari ke 10 dan 12. Hal ini menandakan bahwa mikroorganisme dapat berkembang biak meski terjadi proses *intermittent* air limbah sebanyak 40 kali. Konsentrasi MLSS pada hari ke 10, 12 dan 18 mengalami peningkatan konsentrasi yang drastis. Selama proses *intermittent* 20 hari, jumlah mikroba di dalam air limbah berubah-ubah. Akibat dari proses *intermittent*, dimungkinkan terjadinya akumulasi substrat karena pergantian limbah sesuai waktu aerasi. Peningkatan substrat dapat meningkatkan mikroba, selain itu mikroba juga akan bertambah jumlahnya akibat perkembangbiakan. Tingginya jumlah padatan yang terkandung dalam air limbah juga dapat mempengaruhi konsentrasi MLSS.



Gambar 4. 19 Konsentrasi MLSS reaktor dengan durasi waktu 24 jam

Proses aerasi dengan waktu 24 jam selama 20 hari menyebabkan terjadinya 20 kali *intermittent*. Hasil pengukuran MLSS menunjukkan rata-rata kenaikan konsentrasi dari hari pertama hingga hari ke 10 dan 12. Sama halnya dengan waktu aerasi 12 jam, mikroorganisme pada waktu aerasi 24 jam mengalami perkembangbiakan dan mencapai puncaknya pada hari ke 10. Selama proses *intermittent*, makanan / substrat yang diberikan (beban organik influen) diatur agar tetap sama. Akumulasi beban organik akan berkurang akibat penguraian oleh mikroorganisme. Waktu aerasi yang lama akan menurunkan jumlah mikroba lebih cepat karena beban organik / substrat yang ada akan *ter-removal* lebih banyak sehingga jumlah substrat semakin sedikit. Penurunan jumlah mikroorganisme akibat terbatasnya makanan / substrat disebabkan terjadinya reaksi *endogenous*, sehingga mikroorganisme yang bersifat organik akan saling memakan.



Gambar 4. 20 Konsentrasi MLSS reaktor dengan durasi waktu 48 jam

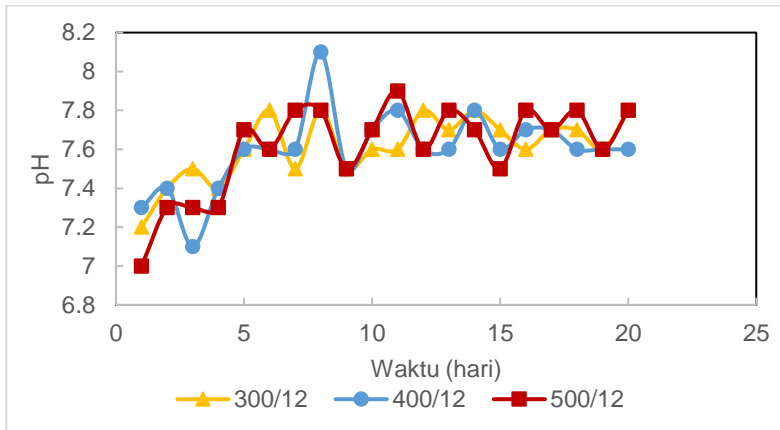
Pengukuran MLSS pada waktu aerasi 48 jam menunjukkan hasil yang sama dengan waktu aerasi 12 dan 24 jam yaitu semakin meningkat hingga hari ke 10 dan 12. Waktu aerasi 48 jam memberikan waktu kontak yang lebih lama antara mikroorganisme dengan air limbah. Kondisi tersebut dapat membuat mikroorganisme beradaptasi dan berkembangbiak lebih lama sehingga MLSS akan meningkat. Akan tetapi, konsentrasi MLSS dengan waktu aerasi 48 rata-rata lebih rendah jika dibandingkan dengan waktu aerasi 12 dan 24 jam. Hal ini dapat terjadi akibat kekurangan substrat sehingga dapat terjadi proses respirasi *endogenous*.

4.9 Analisis pH

pH merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui apakah proses yang terjadi di dalam reaktor sudah berada pada pH optimum untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Umumnya nitrifikasi berlangsung optimal pada pH 7,7-8,9 dan akan berhenti pada pH 5-5,5.

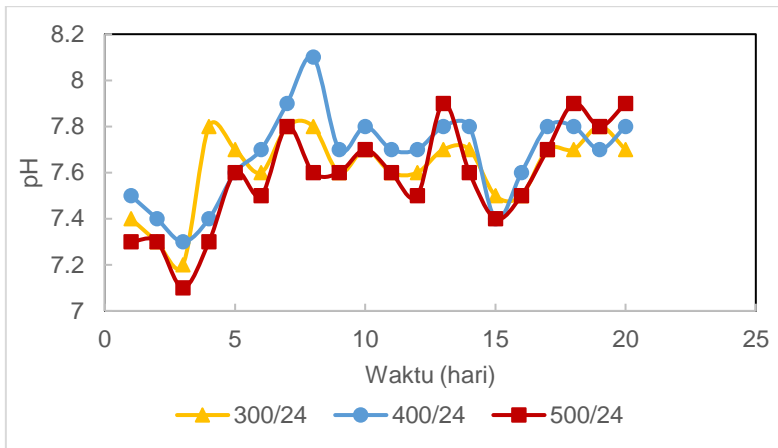
Mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. pH optimum untuk *Nitrosomonas* berkisar antara 8,5-8,5 dan pH optimum untuk *Nitrobacter* yaitu 8,3-9,3. Sedangkan pH paling efektif untuk proses denitrifikasi berkisar antara 7-8,5.

Berdasarkan hasil pengukuran pH pada semua durasi waktu aerasi, rata-rata semua reaktor pada setiap durasi berada pada rentang pH optimum untuk nitrifikasi dan denitrifikasi. Nilai pH air limbah pada hari ke-0 berkisar antara 7-7,4 sedangkan pada hari ke-20 berkisar antara 7,6-7,9. Nilai pH pada setiap proses aerobik dapat dilihat pada Gambar 4.21; 4.22 dan 4.23



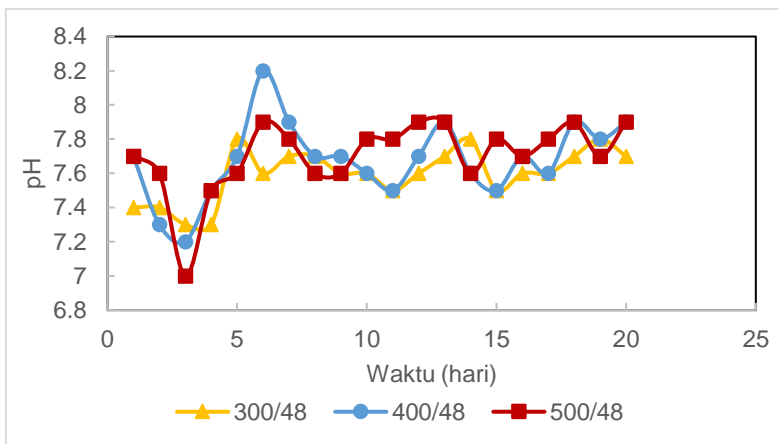
Gambar 4. 21 Nilai pH reaktor dengan durasi waktu 12 jam

pH pada waktu aerasi 12 jam, hari pertama hingga hari ke 5 berada dibawah 7,5. Hal ini menunjukkan bahwa pada hari pertama hingga hari ke 5 proses nitrifikasi tidak terjadi secara optimal. Nilai pH yang naik turun disebabkan oleh proses *intermittent* yang terjadi, dimana proses *decanting* air limbah terjadi secara berulang.



Gambar 4. 22 Nilai pH reaktor dengan durasi waktu 24 jam

Hasil pengukuran pH pada waktu aerasi 24 jam mengalami kenaikan dan penurunan. Hari pertama hingga ke 5 pH relatif lebih rendah sedangkan setelah hari ke 5 pH cenderung lebih konstan.



Gambar 4. 23 Nilai pH reaktor dengan durasi waktu 48 jam

Nilai pH pada waktu aerasi 48 jam hampir sama dengan waktu aerasi 12 dan 24 jam yaitu belum memenuhi pH optimal untuk proses nitrifikasi. pH optimal untuk proses nitrifikasi berkisar antara 7.7-8.9. Hasil pengukuran pH pada waktu aerasi 12, 24 dan 48 jam menunjukkan bahwa waktu aerasi 24 jam lebih fluktuatif jika dibandingkan dengan waktu aerasi 12 dan 48 jam. Hal ini dapat disebabkan karena pengukuran pH dilakukan setiap hari, sesuai dengan waktu *decanting* air limbah.

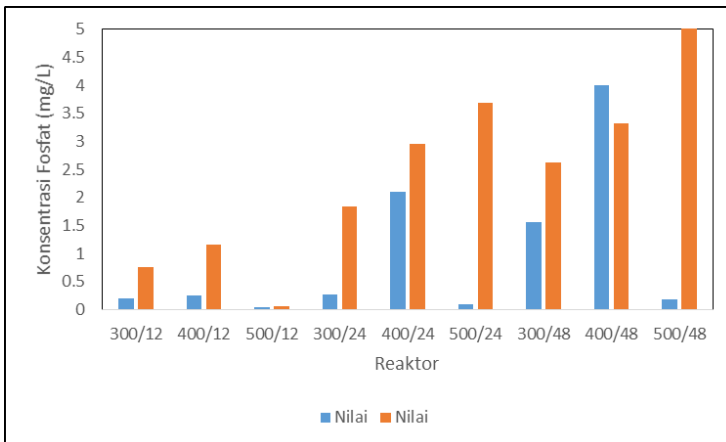
4.10 Analisis Fosfat

Beban P dalam aliran masuk instalasi pengolahan air limbah terdiri dari ortofosfat-fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), polifosfat dan senyawa fosfor organik. Bersama-sama, mereka membentuk 'total fosfor' (P_{tot}). Pengolahan air limbah secara biologis, polifosfat dan fosfor organik diubah menjadi *orthophos-phate*. Fosfor dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam metabolisme energi mereka. P diperlukan untuk membentuk membran sel dan DNA. Beberapa fosfor dalam air limbah dihilangkan secara biologis, sisanya dapat dihilangkan dengan presipitasi fisik-kimia fosfat.



Gambar 4. 24 Konsentrasi fosfat *intermittent* pertama

Gambar 4.24 menunjukkan konsentrasi fosfat saat awal pertama kali dilakukan *intermittent*. Konsentrasi fosfat awal di dalam reaktor berkisar antara 0,7-1,7 mg/L. Konsentrasi akhir fosfat pada *intermittent* 1 berkisar antara 0,5-1,4 mg/L. Rata-rata *removal* fosfat pada reaktor dengan waktu aerasi 12 jam sebanyak 18%, reaktor dengan waktu aerasi 24 jam sebanyak 27% dan reaktor dengan waktu aerasi 48 jam sebanyak 37%.



Gambar 4. 25 Konsentrasi fosfat *intermittent* terakhir

Gambar 4.25 menunjukkan konsentrasi fosfat pada *intermittent* terakhir. Rata-rata konsentrasi awal fosfat berkisar antara 0,04-4,0 mg/L. Rata-rata konsentrasi akhir fosfat berkisar antara 0,05-8,1 mg/L. Konsentrasi fosfat rata-rata meningkat di akhir penelitian. Tingginya konsentrasi fosfat di akhir penelitian diakibatkan oleh proses *intermittent* dan aerasi yang meningkatkan nilai nitrat. Konsentrasi nitrat yang tinggi akan mengeliminasi / mengganggu *removal* fosfat.

4.11 Rasio C:N:P

Faktor yang mempengaruhi pengolahan biologis salah satunya yaitu adanya ketersediaan nutrisi untuk mikroorganisme.

Nutrisi merupakan faktor yang berpengaruh besar dalam proses sintesis dan pertumbuhan sel, serta dalam aktivitas enzim yang dihasilkan oleh bakteri untuk mendegradasi polutan. Beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan mikroorganisme adalah karbon, fosfat dan nitrogen. Pada dasarnya semua mikroorganisme memerlukan karbon sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitasnya. Nitrogen dan fosfat juga merupakan penyusun senyawa-senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme. Ketiga unsur ini harus ada dalam rasio yang tepat agar tercapai pertumbuhan bakteri yang optimal. Rasio COD: N: P dalam air limbah yang akan diolah harus sekitar 100: 5: 1 untuk perawatan aerobik dan 250: 5: 1 untuk pengobatan anaerobik (Metcalf dan Eddy, 1991)

Pada penelitian ini nilai C yang digunakan berasal nilai konsentrasi COD, P berasal dari konsentrasi fosfat dan nilai N yang digunakan berasal dari konsentrasi TN (TKN+NO₃N). Rata-rata rasio pada proses aerasi awal *intermittent* berkisar 390:64:1. Terlihat bahwa sejak awal *intermittent* rasio C: N: P tidak semua memenuhi rasio optimum. Menurut Winkler (1981), selama proses aerobik pada pengolahan air limbah, rasio C/N/P harus berada pada rentang 100:10:1 dan 100:5:1. Rasio C/N/P pada *intermittent* awal dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Rasio C/N/P *intermittent* awal

Reaktor	Awal		
	COD	TN	Fosfat
300/12	196	39	1
400/12	319	47	1
500/12	361	72	1
300/24	273	59	1
400/24	286	37	1

Reaktor	Awal		
	COD	TN	Fosfat
300/48	479	102	1
400/48	472	62	1
500/48	572	84	1

Rasio C/N/P yang turun menunjukkan bahwa unsur karbon dan bahan organik lainnya telah didekomposisi oleh bakteri. Berikut ini adalah nilai COD, Total N, dan fosfat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Konsentrasi COD, TN, dan Fosfat *intermittent* awal

Reaktor	COD awal (mg/L)	TN awal (mg/L)	Fosfat awal (mg/L)
300/12	340	37,62	1,74
400/12	460	46,99	1,44
500/12	580	59,44	1,61
300/24	390	43,71	1,43
400/24	420	41,80	1,47
500/24	560	55,26	1,02
300/48	340	38,06	0,71
400/48	480	47,79	1,02
500/48	560	55,16	0,98

4.12 Ringkasan Operasional Reaktor Aerobik

Penelitian ini dilakukan selama 20 hari secara *intermittent* menggunakan reaktor aerobik. *Intermittent* dilakukan berdasarkan modifikasi waktu aerasi yaitu 12, 24, dan 48 jam. Setiap 12 jam sekali pada reaktor 12 jam dilakukan pengambilan sampel, kemudian air limbah di dalam reaktor dikeluarkan serta dilakukan *decanting* limbah baru untuk *intermittent* selanjutnya. Hal ini

dilakukan pula pada reaktor dengan variasi waktu aerasi 24 dan 48 jam.

Pada hari ke-12 telah terjadi *intermittent* sebanyak 24 kali untuk variasi waktu aerasi 12 jam, 12 kali untuk variasi 24 jam dan 6 kali untuk variasi 48 jam. Selama *intermittent* dilakukan pengukuran konsentrasi DO, konsentrasi DO pada hari ke 12 berkisar antara 3,4-3,7 mg/L. Durasi aerasi 12 jam menghasilkan *removal* COD pada konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L berturut-turut yaitu 28%, 23%, dan 50%. Durasi aerasi 24 jam menghasilkan *removal* COD 30%, 41%, dan 27%. Durasi aerasi 48 jam menghasilkan *removal* COD tertinggi dimana *removal* sebesar 71%, 62%, dan 57%.

Removal ammonium pada hari ke-12 untuk variasi durasi waktu aerasi 12 jam pada konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L berturut-turut yaitu 68%, -10% dan -13%. Durasi 24 jam menghasilkan *removal* ammonium 23%, 45% dan 71%. Durasi 48 jam menghasilkan *removal* ammonium 76%, 98% dan 50%.

Peningkatan nilai nitrat pada hari ke-12 untuk variasi durasi waktu aerasi 12 jam pada konsentrasi COD air limbah 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L berturut-turut yaitu 3,1%, 3,7% dan -14,5%. Durasi 24 jam menghasilkan *removal* nitrat 10%, 27% dan 81%. Durasi 48 jam menghasilkan *removal* nitrat 35%, 24% dan 43%.

Selama proses *intermittent* (20 hari), waktu aerasi 12 jam mampu menurunkan konsentrasi COD rata-rata 107,2 mg/L dengan rincian penurunan per jam rata-rata sebesar 8,9 mg/L. Waktu aerasi 24 jam mampu menurunkan konsentrasi COD rata-rata 197,3 mg/L dengan rincian penurunan per jam rata-rata sebesar 8,2 mg/L. Waktu aerasi 48 jam mampu menurunkan konsentrasi COD rata-rata 265,7 mg/L dengan rincian penurunan per jam rata-rata sebesar 5,5 mg/L. Waktu aerasi 48 jam menghasilkan penyisihan beban COD terbesar akan tetapi hasil penyisihan beban COD per jam nya paling sedikit. Hal tersebut

dapat diakibatkan karena semakin lama limbah diolah maka limbah tersebut semakin menjadi *non biodegradable* sehingga susah diolah. Waktu aerasi 12 jam menghasilkan penyisihan beban COD paling sedikit namun hasil penyisihan beban COD per jam nya paling besar.

Data hasil analisis dibandingkan dengan baku mutu air Peraturan Menteri KLH 2016. Waktu aerasi optimum dipilih dari hasil efluen pengolahan bahan organik yang sesuai dengan baku mutu. Waktu aerasi 48 jam menghasilkan efluen yang paling besar persentasenya dalam memenuhi baku mutu. Variasi konsentrasi 300 mg COD/L menghasilkan sebanyak 50% dari data yang ada sudah memenuhi baku mutu COD dan 100% memenuhi baku mutu ammonia. Variasi konsentrasi 400 mg COD/L menghasilkan sebanyak 10% dari data yang ada sudah memenuhi baku mutu COD dan 90% memenuhi baku mutu ammonia. Data efluen pada variasi konsentrasi 500 mg COD/L belum memenuhi baku mutu, akan tetapi rata-rata konsentrasi COD mengalami penurunan 50% dan sebanyak 80% dari data yang ada telah memenuhi baku mutu ammonia.

Proses *intermittent* yang dilakukan terlalu sering menyebabkan air limbah kurang terolah secara baik, sehingga dimungkinkan terjadi akumulasi dari bahan organik yang belum terolah optimal dan mempengaruhi efisiensi pengolahan pada proses selanjutnya. Waktu aerasi 12 jam, 24 jam dan 48 jam menghasilkan *removal* yang berbeda. Semakin lama waktu aerasi menghasilkan *removal* yang lebih tinggi, hal ini disebabkan mikroorganisme dapat mendegradasi air limbah lebih lama. Penyisihan beban organik per jam terbesar dicapai pada waktu aerasi 12 jam, hal ini berbanding terbalik dengan besar penyisihan zat organik selama waktu aerasi (12, 24 dan 48 jam).

Proses *intermittent* dan lama waktu aerasi mempengaruhi *removal* pada beban organik yang berbeda. Beban organik yang rendah akan lebih mudah terdegradasi. Variasi beban organik 300, 400 dan 500 mg/L ter-*removal* dengan baik pada waktu 48 jam dan

jeda *intermittent* yang lebih lama. Hasil *removal* yang fluktuatif pada variasi beban organik di waktu aerasi 12 dan 24 jam dapat terjadi karena proses pengolahan yang kurang lama (terlalu sering terjadi *intermittent*) dan karena mikroba untuk mendegradasi bahan organik (COD, ammonium dan nitrat) belum berkembang secara optimal.

Metode extended aeration ini dapat diaplikasikan untuk pengolahan air limbah *grey water*, *black water* maupun campuran antara *grey water* dan *black water*. Hal tersebut sesuai dengan range beban organik pada penelitian ini. Penggunaan waktu aerasi 12 jam akan menghasilkan penyisihan beban organik terbesar tiap jam-nya. Namun, jika diinginkan penyisihan beban organik yang optimum dan sesuai dengan baku mutu dapat menggunakan waktu aerasi 48 jam.

4.13 Desinfeksi

Proses desinfeksi dilakukan setelah 1 kali *running* pengolahan air limbah domestik. Sampel uji diambil setelah dilakukan aerasi dengan durasi waktu 12, 24 dan 48 jam. Desinfektan yang digunakan adalah kaporit 0.05%. Klor (Cl) dari kaporit berfungsi sebagai oksidator limbah organik dan anorganik, serta sebagai desinfektan yang efektif membunuh mikroorganisme patogen, seperti *Escherichia coli*, *Legionella*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Amoeba* dan harganya terjangkau (Sururi *et al.*, 2008). Tahap yang dilakukan sebelum desinfeksi adalah mengukur kandungan *coliform* awal untuk menentukan karakteristik awal, kemudian dilakukan analisis BPC (*break point chlorination*) untuk menentukan dosis kaporit yang digunakan. Dosis kaporit dari hasil analisis BPC digunakan pada proses desinfeksi hingga didapatkan dosis optimum.

4.13.1 Analisis Kandungan Coliform Awal Air Limbah

Bakteri *coliform* merupakan salah satu mikroorganisme aerob, fakultatif anaerob yang memanfaatkan bahan-bahan organik di dalam perairan sebagai media tempat hidup. Bakteri

coliform didalam air tanah mengindikasikan adanya pencemaran yang diakibatkan oleh limbah dari berbagai aktivitas terutama aktivitas domestik maupun aktivitas industri yang tidak terolah maupun belum terolah dengan baik (Widiyanto *et al.*, 2015). Berikut ini adalah hasil analisis kandungan *coliform* awal yang tercantum pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Kandungan *Coliform* Awal Air Limbah tiap Reaktor

Reaktor	Nilai (koloni/100 mL)
300/12	6.300.000
400/12	13.000.000
500/12	54.000.000
300/24	13.000.000
400/24	21.000.000
500/24	35.000.000
300/48	4.100.000
400/48	54.000.000
500/48	160.000.000

4.13.2 Analisis zat organik dan ammonia

Faktor yang mempengaruhi tinggi / rendahnya kebutuhan klorin salah satunya akibat kandungan zat organik dan konsentrasi ammonia. Semakin tinggi konsentrasi zat organik dan ammonia maka dosis klorin yang dibutuhkan akan semakin banyak, begitu juga sebaliknya. Tabel 4.6 dan 4.7 merupakan hasil analisis zat organik dan ammonia-nitrogen sebelum dilakukan proses klorinasi.

Tabel 4. 6 Konsentrasi zat organik (COD)

Reaktor	Konsentrasi COD (mg/L)			
	0	12	24	48
300/12	300	280		
300/24	300		240	
300/48	320			100
400/12	420	260		
400/24	460		340	
400/48	400			320
500/12	540	420		
500/24	550		460	
500/48	500			340

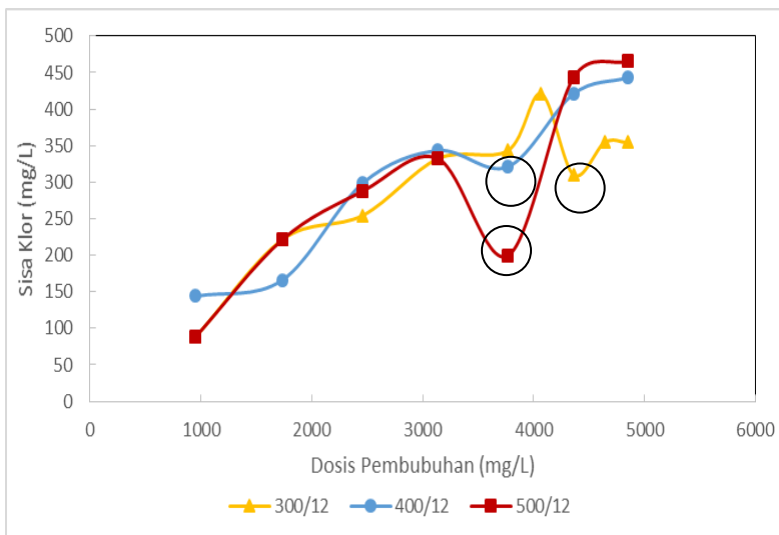
Tabel 4. 7 Konsentrasi Ammonium

Reaktor	Konsentrasi ammonium (mg/L)			
	0	12	24	48
300/12	13,65	8,30		
300/24	11,45		7,05	
300/48	12,77			4,24
400/12	11,78	8,10		
400/24	15,41		6,25	
400/48	13,22			10,18
500/12	14,35	7,30		
500/24	18,28		2,63	
500/48	19,12			7,33

4.13.3 Penentuan Dosis Desinfektan

a. Break Point Chlorination

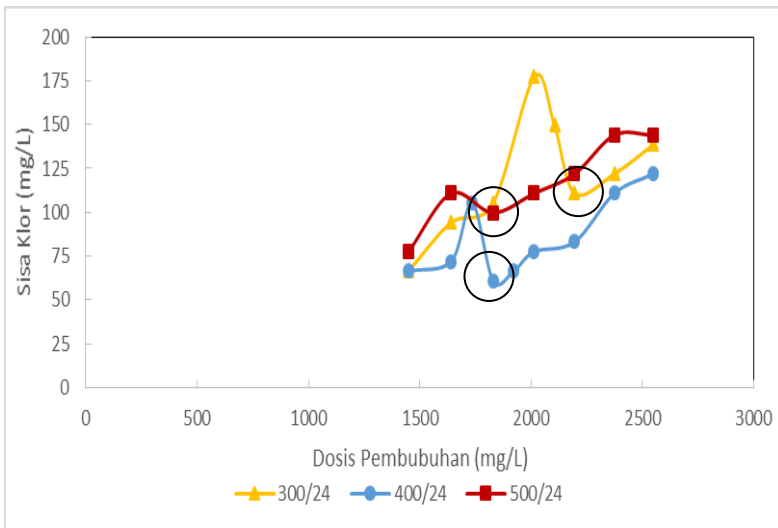
Dosis desinfektan (kaporit) ditentukan setelah proses *break point chlorination*. Sebelum dilakukan BPC, kadar klor aktif $\text{OCl}^- / \text{HOCl}$ (mg/L) dari kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) diukur terlebih dahulu. Kaporit 0,05% memiliki kadar klor aktif sebesar 886,25 mg/L. Berdasarkan kadar klor aktif tersebut, volume larutan kaporit yang dibubuhkan dalam perlakuan sampel dapat dihitung menggunakan persamaan $N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$ untuk mendapatkan dosis klor aktif yang ditentukan. Waktu kontak/inkubasi yang digunakan selama 30 menit, waktu tersebut adalah yang terbaik karena menghasilkan rerata sisa klor yang terendah (Shovitri *et al.*, 2011). Gambar 4.26 sampai 4.28 menunjukkan grafik BPC dari sampel setiap reaktor.



Gambar 4. 26 Kurva BPC Sampel Waktu Aerasi 12 jam

Reaktor dengan waktu aerasi 12 jam menggunakan dosis kaporit pada *range* 1000-5000 mg/L untuk mendapatkan titik BPC. Titik BPC pada konsentrasi COD 400 dan 500 mg/L sama-sama

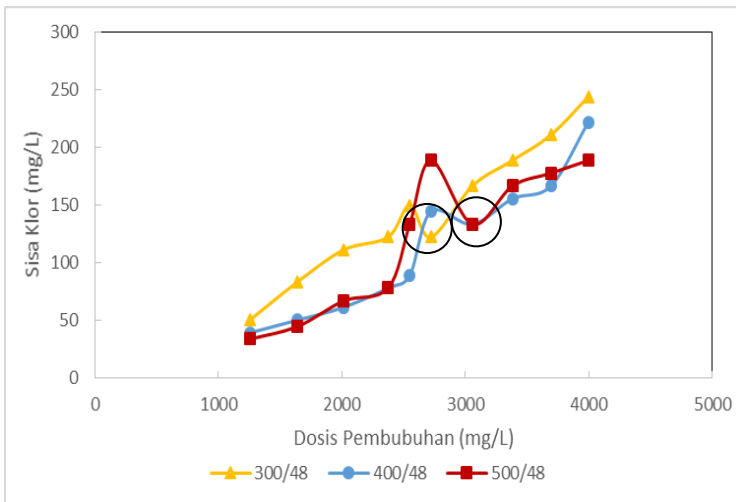
berada pada dosis pembubuhan kaporit 3769,3 mg/L. Sisa klor yang dihasilkan berturut-turut adalah 321,3 mg/L dan 119,4 mg/L. Titik BPC pada konsentrasi COD 300 mg/L berada pada dosis pembubuhan kaporit 4360,1 mg/L, lebih tinggi dari titik BPC pada konsentrasi COD 400 dan 500. Sisa klor yang dihasilkan pada konsentrasi COD 300 adalah 310,2 mg/L. Tingginya sisa klor setelah proses klorinasi dapat terjadi karena di dalam air yang diolah tidak mengandung senyawa yang dapat bereaksi dengan klorin, maka klor yang ditambahkan akan menjadi klor bebas dan berbanding lurus dengan konsentrasi yang ditambahkan (keadaan *zero chlorine demand*).



Gambar 4. 27 Kurva BPC Sampel Waktu Aerasi 24 jam

Reaktor dengan waktu aerasi 24 jam menggunakan dosis kaporit pada *range* 1500-2500 mg/L untuk mendapatkan titik BPC. Titik BPC pada konsentrasi COD 400 dan 500 mg/L sama-sama berada pada dosis pembubuhan kaporit 1829,4 mg/L. Sisa klor

yang dihasilkan berturut-turut adalah 60,9 mg/L dan 99,7 mg/L. Titik BPC pada konsentrasi COD 300 mg/L berada pada dosis pembubuhan kaporit 2195,6 mg/L, lebih tinggi dari titik BPC pada konsentrasi COD 400 dan 500. Sisa klor yang dihasilkan pada konsentrasi COD 300 adalah 110,8 mg/L. Gambar 4.30 memperlihatkan bahwa titik BPC adalah titik terendah sisa klor. Analisis BPC sebelum proses klorinasi diperlukan, karena setelah melewati titik BPC klorinasi akan lebih efektif. Setelah melewati titik BPC, peningkatan dosis klor akan sesuai dengan sisa klor dalam air. Tinggi rendahnya dosis pembubuhan dan sisa klor dipengaruhi oleh adanya kandungan senyawa yang dapat bereaksi dengan klorin (ammonia, Fe, Mn dan H₂S).



Gambar 4. 28 Kurva BPC Sampel Waktu Aerasi 48 jam

Reaktor dengan waktu aerasi 48 jam menggunakan dosis kaporit pada *range* 500-4000 mg/L untuk mendapatkan titik BPC. Titik BPC pada konsentrasi COD 400 dan 500 mg/L sama-sama berada pada dosis pembubuhan kaporit 3056 mg/L serta menghasilkan sisa klor yang sama 132,9 mg/L. Titik BPC pada

konsentrasi COD 300 mg/L berada pada dosis pembubuhan kaporit 2720,9 mg/L, lebih rendah dari titik BPC pada konsentrasi COD 400 dan 500. Sisa klor yang dihasilkan pada konsentrasi COD 300 adalah 121,9 mg/L.

Kaporit bereaksi dengan air (H_2O) akan menjadi klor aktif bebas asam hipoklorit ($HOCl$) dan ion hipoklorit (OCl^-). Klor aktif bebas kemudian bereaksi dengan bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam sampel. Perbedaan titik BPC pada sampel setiap reaktor dapat diakibatkan karena kandungan bahan organik dan anorganik didalam sampel yang berbeda-beda. Semakin banyak kandungan bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam sampel akan membutuhkan dosis desinfektan yang lebih tinggi, begitu juga dengan sebaliknya. Salah satu bahan anorganik adalah amonium (NH_4) yang apabila bereaksi dengan klor aktif bebas akan membentuk kloramin. Brooks (1999) menyebutkan bahwa pada kisaran $pH \geq 7$, $HOCl$ cenderung berikatan dengan NH_4 membentuk NH_2Cl yang juga bersifat aktif yang juga memiliki daya desinfektan walau tidak sekuat klor aktif bebas $HOCl$. Apabila kandungan bahan organik, anorganik dan amonia dalam sampel telah habis teroksidasi, sedangkan kaporit masih dibubuhkan secara konsisten, maka NH_2Cl dioksidasi oleh klor aktif bebas membentuk gas nitrogen (N_2). Pembentukan N_2 merupakan titik puncak maksimum pada kurva BPC, karena N_2 hilang ke udara dan dapat menurunkan konsentrasi sisa klor aktif secara drastis. Selain itu, pembentukan N_2 berpotensi menurunkan pH (Lestari *et al.*, 2008)

b. Klorinasi

Desinfeksi diperlukan untuk memusnahkan bakteri, virus dan kista protozoa yang terdapat dalam air limbah. Klorin dioksida (ClO_2) adalah produk desinfektan yang kuat bahkan mampu untuk memusnahkan patogen parasit klorin yang resisten seperti *Cryptosporidium parvum* dan bekerja dalam kisaran pH yang lebih luas rentangnya.

Dosis desinfektan yang dibubuhkan berasal dari hasil analisis kurva BPC. Desinfeksi pada penelitian ini dilakukan 3 tahap. Tahap pertama dilakukan pembubuhan dosis desinfektan 1 titik diatas dosis BPC. Tahap kedua dilakukan pembubuhan dosis desinfektan 2 titik diatas kurva BPC. Tahap kedua dilakukan pembubuhan dosis desinfektan 3 titik diatas kurva BPC. Hal ini dilakukan untuk menurunkan jumlah bakteri *coliform* agar aman saat dibuang ke lingkungan. Berikut ini adalah Tabel 4.6 sampai 4.8 mengenai hasil desinfeksi.

Tabel 4. 8 Hasil Desinfeksi Tahap Pertama

Reaktor	Dosis Pembubuhan (mg/L)	Sisa Klor (mg/L)	Nilai (koloni/100 mL)
300/12	4641,43	354,50	0
400/12	4360,07	420,97	230000
500/12	4360,07	443,13	0
300/24	2373,88	121,86	0
400/24	1922,23	66,47	0
500/24	2014,20	110,78	0
300/48	3056,03	166,17	0
400/48	3379,77	155,09	0
500/48	3379,77	166,17	195000

Tabel 4. 9 Hasil Desinfeksi Tahap Kedua

Reaktor	Dosis Pembubuhan (mg/L)	Sisa Klor (mg/L)	Nilai (koloni/100 mL)
400/12	4846,7	443,1	0
500/48	3692,7	177,3	50000

Tabel 4. 10 Hasil Desinfeksi Tahap Ketiga

Reaktor	Dosis Pembubuhan (mg/L)	Sisa Klor (mg/L)	Nilai (koloni/100 mL)
500/48	3995,39	188,33	0

Klor aktif HOCl dan ion OCl⁻ selain dapat mengoksidasi bahan organik dan anorganik, juga dapat menghidrolisis dan deaminasi komponen kimia bakteri seperti peptidoglikan, lipid, dan protein dan menimbulkan kerusakan fisiologis yang mungkin mempengaruhi mekanisme seluler. Aplikasi klor dapat mempengaruhi perbedaan konsentrasi yang sangat tinggi antara lingkungan ekstrasel dan intrasel yang berpotensi mengganggu tekanan osmotik sel dan mengancam terjadinya lisis/kehancuran sel (LecHevallier, 2004). Sisa klor dapat membunuh mikroorganisme yang ada, akan tetapi pada sampel reaktor 400/12 dan 500/48 membutuhkan dosis pembubuhan serta sisa klor yang lebih tinggi untuk menghilangkan bakteri *coliform*. Sampel reaktor 500/48 mengandung *coliform* terbanyak dibandingkan dengan sampel reaktor lain. Tingginya sisa klor yang diperlukan untuk memusnahkan *coliform* dapat disebabkan oleh banyaknya *coliform* yang terapat pada sampel, ataupun adanya bakteri *coliform* yang lebih resisten. Tingginya sisa klor hasil dari klorinasi dapat meningkatkan zat-zat yang bersifat mutagenik / karsinogenik dari hasil produk (DBPs) (trihalomethans, asam *haloacetate*) yang berasal dari reaksi klorin dengan senyawa organik, sehingga perlu di minimalkan penggunaanya.

Waktu aerasi 12 jam membutuhkan dosis desinfektan rata-rata 4600 mg/L dengan rata-rata sisa klor 413 mg/L. Waktu aerasi 24 jam membutuhkan dosis desinfektan rata-rata 2100 mg/L dengan rata-rata sisa klor 100 mg/L. Waktu aerasi 48 jam membutuhkan dosis desinfektan rata-rata 3400 mg/L dengan rata-rata sisa klor 170 mg/L. Dosis desinfektan tertinggi dibubuhkan pada sampel dengan waktu aerasi 12 jam, hal ini dapat dikarenakan penguraian

beban organik dan anorganik yang masih rendah, sehingga konsentrasinya masih tinggi. Dosis pembubuhan yang tinggi menghasilkan sisa klor yang tinggi begitu juga sebaliknya. Dosis desinfektan terendah dibubuhkan pada sampel dengan waktu aerasi 24 jam. Waktu aerasi yang lebih lama menguraikan beban organik dan anorganik lebih baik. Bakteri *coliform* secara umum bersifat aerob, sehingga semakin lama waktu aerasi jumlah bakteri *coliform* dapat semakin meningkat.

Salah satu metode untuk mencapai dosis klorin yang lebih rendah adalah dengan meletakkan proses klorinasi pada effluen terakhir dari proses pengolahan. Secara umum pengolahan air limbah terdiri dari *screening*, *grit removal*, pengendapan primer, pengolahan biologis, pengendapan sekunder, dan klorinasi. Pengolahan air limbah yang tidak lengkap dapat menghasilkan effluen yang kurang optimal sehingga dapat meningkatkan dosis pembubuhan klorin. Konsentrasi ammonia, dan pH dapat mempengaruhi proses klorinasi. Konsentrasi ammonia yang lebih tinggi dapat meningkatkan dosis pembubuhan klorin, sedangkan pH seharusnya dijaga pada netral hingga asam. Hasil analisis seharusnya menunjukkan bahwa kandungan zat organik dan ammonia yang rendah akan membutuhkan dosis klorin yang lebih rendah. Hal ini tidak terjadi pada konsentrasi 300 dengan waktu aerasi 12 dan 24 jam. Dosis pembubuhan pada konsentrasi tersebut lebih besar dari dosis yang dibutuhkan oleh variasi beban organik 400 dan 500 mg COD/L. Hal ini dapat disebabkan akibat konsentrasi ammonianya yang tinggi dan dapat juga dikarenakan oleh pH yang kurang sesuai sehingga meningkatkan dosis klorin yang dibutuhkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Waktu aerasi selama 48 jam mengoksidasi zat organik dan ammonia nitrogen secara optimum. Rata-rata efisiensi *removal* COD pada konsentrasi COD 300, 400 dan 500 mg/L berturut-turut yaitu 66%, 58% dan 60%. Rata-rata efisiensi *removal* ammonia nitrogen pada konsentrasi COD 300, 400 dan 500 mg/L berturut-turut yaitu 74%, 84% dan 76%.
2. Beban organik tinggi terurai lebih lama dibandingkan dengan beban organik rendah. Waktu aerasi mempengaruhi hasil *removal* beban organik, semakin cepat waktu aerasi (12 jam) semakin banyak proses intermitten yang terjadi sehingga proses *activated sludge* dalam menguraikan beban organik kurang maksimal. Waktu aerasi yang lebih lama (48 jam) menguraikan beban organik paling optimal.
3. Waktu aerasi 12 jam membutuhkan dosis desinfektan rata-rata 4600 mg/L. Waktu aerasi 24 jam membutuhkan dosis desinfektan rata-rata 2100 mg/L. Waktu aerasi 48 jam membutuhkan dosis desinfektan rata-rata 3400 mg/L.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian terhadap limbah domestik dengan konsentrasi yang lebih tinggi dan waktu aerasi yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengukur bahan organik, kloramin dan gas nitrogen untuk mengetahui naik turunnya kadar klor aktif.
3. Perlu dilakukan pengujian ulang terkait penggunaan dosis desinfektan yang tinggi pada coliform yang masih tersisa setelah klorinasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aljumriana. 2015. **Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Pada Proses Aerobik-Anoksik**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Andhika J.D., Duta, Trijoko, Hanani, dan Yusniar. 2013. Kadar Sisa Chlor dan Kandungan Bakteri *E. Coli* Perusahaan Air Minum Tirta Moedal Semarang Sebelum dan Sesudah Pengolahan. **Jurnal Kesehatan Masyarakat** 2(2):1-9.
- Anggraeni, D., Sutanhaji, A. T., Rahadi, J. B. 2014. Pengaruh Volume Lumpur Aktif dengan Proses Kontak Stabilisasi pada Efektivitas Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Ikan. **Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan**, 1(4).
- Anggraini, F., Effendi, R. ., Prayudi, T. 2014. Peta Kondisi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Menggunakan Metode Indeks Pencemaran (IP). **Jurnal Pemukiman**, 9(2), 91–101.
- Arceivala, S. J. dan Alagarsamy, S. R. 1970. Design and Construction of Oxidation Ditches Under Indian Condition. Nagpur: Central Public Health Engineering Research Institute.
- Bachmann, A., Beard, V.L., McCarty, P.L., 1985. Performance characteristics of the anaerobic baffled reactor. **Water Resources**, 19 (1985): 99-106.
- Badan Standarisasi Nasional, 2006. Cara uji mikrobiologi-Bagian 1: Penentuan coliform dan *Escherichia coli* pada produk perikanan. SNI 01-2332.1-2006.
- Brooks, A Matthew. 1999. **Breakpoint Chlorination as an Alternate Means of Ammonia-Nitrogen Removal at a Water Reclamation Plant**. Environmental Sciences and Engineering. Northern Virginia Center. Virginia.

- Busyairi, M., Dewi, Y. P., Widodo, D. I. 2016. Efektifitas Kaporit Pada Proses Klorinasi Terhadap Penurunan Bakteri Coliform Dari Limbah Cair Rumah Sakit X Samarinda. **Jurnal Manusia dan Lingkungan**, 23(2), 156–162.
- Chang, S.L. 1971. Modern Concept of Disinfection. **Jour. Sed** 97. No SA5:689
- Chen, S., Sun, D., Chung, J.-S. 2008. Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic–aerobic moving-bed biofilm reactor system. **Waste Management**, 28(2), 339–346.
- David, S.H. dan Coleman, T.E. 2000. Technology Assessments: Nitrogen Removal Using Oxidation Ditches. pp 2-1 to 2-6
- Dinas Kebersihan dan Pertamanan. 2015. Surabaya
- Dinas Kebersihan dan Pertamanan. 2017. Surabaya
- Doraja, P., Shovitri, M., Kuswytasari. 2012. Biodegradasi Limbah Domestik Dengan Menggunakan Inokulum Alami dari Tangki Septik. **Jurnal Sains dan Seni**, 1 (1) : 44-48. Surabaya: Jurusan Biologi- Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fauziah, Rahmia. 2012. **Tugas 2 Lumpur Aktif**. Dilihat tanggal 30 Januari 2018. <<http://www.scribd.com/doc/78487584/TUGAS-2 LUMPUR-AKTIF>>.
- Greenberg, A. E., Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater: 21th Edition. Washington DC: American Public Health Association Publisher.
- Heinss, U., Larmie, S. A. and Strauss, M. 1999. Characteristics of Faecal Sludge and Their Solid Liquid Separation. Eawag. Dübendorf, Switzerland
- Hend Galal- Gorchev. 1996. Disinfection of Drinking Water and By-products of Health Concern. CEPIS Atikel. WHO.
- Henze, M., P Harrem, 2002. Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. Springer Science & Business Media. New York.

- Hindarko, S. 2003. Mengolah Air Limbah. Jakarta: Penerbit Esha Seri Lingkungan Hidup.
- Hopper, T. 2008. Wastewater Treatment Plant Southwestern Energy Operations Center. Damascus: Crafton, Tull, Sparks & Associates, Inc.
- Indriani, T., 2010. **Studi Efisiensi Paket Pengolahan Grey Water Model Modifikasi ABR-Anaerobic Filter**. Teknik Lingkungan, ITS Surabaya.
- Ishartanto, W, A. 2009. Pengaruh Aerasi Dan Penambahan Bakteri *Bacillus* sp. Dalam Mereduksi Bahan Pencemar Organik Air Limbah Domestik. Skripsi, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Jin, P., Wang, X., Wang, X., Ngo, H. H., Jin, X. 2015. A New Step Aeration Approach Towards The Improvement Of Nitrogen Removal In A Full Scale Carrousel Oxidation Ditch. **Bioresource Technology**, 198(Supplement C), 23–30.
- Jonrizal. 2001. **Evaluasi Efisiensi Kadar Total Suspended Solid pada Solid Separation Chamber di IPLT Keputih, Surabaya**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lestari, D. E., Utomo, S.B., Sunarko, Virkyanov. 2008. Pengaruh Penambahan Biosida Pengoksidasi Terhadap Kandungan Klorin untuk Pengendalian Pertumbuhan Mikroorganisme pada Air Pendingin Sekunder RSG-GAS. Pusat Reaktor Serba Guna BATAN. Kawasan Puspitek Serpong. Tangerang. Banten.
- Lestari, R. P. 2011. **Pengujian Kualitas Air Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Mojosongo Kota Surakarta**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FT UNS.
- LecHevallier, Mark, W. 2004. **Water Treatment and Phatogen Control**. IWA Publishing. Alliance House. World Health Organisation.United Kingdom.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R., 2009. Review of The

- Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses. **Sci. Total Environ**, 407 (2009): 3439–3449.
- Masduqi, A dan Slamet, A., 2000. Satuan Proses: Modul Ajar. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Mega, G. D. 2016. **Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw Hill Company. Inc. Singapura.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering Collection and Pumping of Wastewater, 3rd Edition. New York: McGraw Hill.
- Metcalf and Eddy. 2004. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Fouth Edition (International Edition). McGraw-Hill Company, Inc, Singapore.
- Metcalf and Eddy. 2014. Wastewater Engineering Treatment and Reuse (5 ed.). New York: Mc Graw Hill.
- Mohammadi, H., Sabzali, A., Gholami, M., Dehghanifard, E., Mirzaei, R. 2012. Comparative study of SMBR and extended aeration activated sludge processes in the treatment of high-strength wastewaters. **Special Issue in honour of Professor Takeshi Matsuura on his 75th Birthday**, 287(Supplement C), 109–115.
- Ningtyas, R. 2015. Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif. **Jurnal Teknik Kimia**, 1–11.
- Oktarina, D., Haki, H. 2013. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus: IPLT Sukawinatan). **Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan**, 1(1).
- Özdemir, S., Çokgör, E. U., Insel, G., Orhon, D. 2014. Effect of extended aeration on the fate of particulate components in sludge stabilization. **Bioresource Technology**, 174(Supplement C), 88–94.

- Parkson Corporation. 2011. Extended Aeration Treatment System. Water Today. Fulltide
- Poedjowibowo, D. 2011. Infrastruktur Limbah Terpadu dalam Taman Lingkungan Permukiman. **Jurnal Lanskap Indonesia**, (2011): 90-96.
- Ragil, R., Syarifudin., Sudarno. 2014. Studi Pengaruh Variasi Hydraulic Loading Rate (HLR) Dan Konsentrasi Influen Terhadap Penurunan BOD, COD, Dan TSS Limbah Cair Domestik Black Water Menggunakan Reaktor UASB. Thesis, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang
- Reynolds. 1982. Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, Texas A&M University, Brook/Cole Engineering Division, California.
- Rufaidah, P. N. A. 2015. **Kajian Efek Organic Loading Rate Pada Kinerja Kombinasi Anaerobic Baffled Reactor-Anaerobic Filter**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Said, N. I., Marsidi, R. 2005. Mikroorganisme Patogen Dan Parasit Di Dalam Air Limbah Domestik Serta Alternatif Pengolahan Teknologi Pengolahan, 1(1).
- Sasongko, L.A., 2006. Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk di Sekitar Sungai Tuk terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang serta Upaya Penanganannya. Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Setiawan, D., Sibarani, J., Suprihatin, I. E. 2013. Perbandingan Efektifitas Disinfektan Kaporit, Hidrogen Peroksida, dan Preaksi Fenton, 1(2).
- Shovitri, M., Rosyidi, M. B., Nurhatika, S., Zulaika, E. 2011. Apakah Breakpoint Chlorination (BPC) Selalu Aplikatif Untuk Mengolah Limbah Cair Rumah Sakit. **Jurnal Purifikasi**, 12, 83–92.
- Suganda, R., Sutrisno, E., Wardana, I. W. 2014. Penurunan

- Konsentrasi Amonia, Nitrat, Nitrit dan COD dalam Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Biofilm–Kolam (Pond) Media Pipa CODC Sarang Tawon dan Tempurung Kelapa Disertai Penambahan Ecotru. **Jurnal Teknik Lingkungan**, 3(2014), 58–86.
- Sururi, R. M., Rachmawati, S.Dj., Sholichah, M.,. 2008. **Perbandingan Efektifitas Klor dan Ozon sebagai Desinfektan pada Sampel Air dari Unit Filtrasi Instalasi PDAM Kota Bandung**. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.
- Syafrudin, Sunarno, Atmaja, W. 2012. Studi Pengaruh Variasi Debit terhadap Konsentrasi BOD5, COD, dan TSS Limbah Domestik Black Water Menggunakan Reaktor UASB. **Teknik Lingkungan**, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. dan Stensel, H. D. 2003. *Waste Water Engineering: Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy Inc., New York.
- Titiresmi dan Sopiah, N. 2006. Teknologi Biofilter untuk Pengolahan Limbah Ammonia. **Jurnal Teknik Lingkungan**, 7(2), 173–179.
- U.S EPA. 2000. *Wastewater Technology Fact Sheet: Oxidation Ditch*. Washington DC: Office of Water
- Widiyanto, F. A., Yuniarno, S., Kuswanto. 2015. Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri dan Limbah Rumah Tangga. **Jurnal Kesehatan**, 10(2), 246-254.
- Winkler, M.A.,1981. *Biological Treatment of Wastewater*. Department of Chemical Engineering University of Survey. England : Chichester Halsted Press, John Willey & Sons.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., Jefferson, B. 2008. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. **Water Research**, 42(1), 483–491.
- Xia, S.B. dan Liu, J.X. 2004. An Innovative Integrated Oxidation Ditch with Vertical Circle for Wastewater Treatment, **Journal of Environmental Science** 16 (3): 367-370

Yang, Yahong., Wang, Yajun., dan Wang, Ying. 2012. Condition and Mechanisms Affecting Nutrient Removal in a Carrausel Oxidation Ditch with low Dissolved Oxygen Concentration. **Proceeding Of International Conference on Ecology, Waste Recycling, and Environment**. Vol. 7. ICEWE 2012

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN DEBIT AERATOR

Menghitung kebutuhan oksigen secara teori:

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{needed}} &= \frac{Q (S_o - S_e)}{1000 \times f} \\ &= \frac{5 \frac{L}{\text{hari}} \times (305,8 - 25) \text{ mg/L}}{1000 \times 0,68} = 2,06 \times 10^{-3} \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{Y \times Q (S_o - S_e)}{1000 \times (1 + K_d \times \theta_c)} \\ &= \frac{0,6 \times 5 \frac{L}{\text{hari}} \times (305,8 - 25)}{1000 \times (1 + (0,06 \times 10))} = 5,2 \times 10^{-4} \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ demand} &= \frac{Q (S_o - S_e)}{1000 \times f} - 1,42 (P_x) \\ &= 2,06 \times 10^{-3} \text{ kg/hari} - 1,42 (5,2 \times 10^{-4} \text{ kg/hari}) = \\ 1,3 &\approx 1,3 \times 10^{-3} \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Menghitung volume udara yang dibutuhkan:

$$\rho_{\text{udara}} = \gamma_{\text{udara}} = 1,201 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume O}_2 = 23,2\% V_{\text{udara}}$$

$$V_{\text{udara}} = \frac{1,3 \times 10^{-3} \text{ kg/hari}}{1,201 \times 0,232} = 0,004 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{O}_2 \text{ transfer di dalam udara} = 8\%$$

$$V_{\text{udara}} \text{ aktual} = \frac{0,004 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,08} = 0,05 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Faktor keamanan dan kebutuhan nitrifikasi} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= 2 \times 0,05 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1/1440 \text{ menit} \times 1000 \\ &= 0,069 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

(Aerator yang digunakan menyediakan debit sebesar 3,5 L/menit karena menyesuaikan aerator yang dijual di pasaran).

Keterangan:

Q = debit limbah (m^3/s)

So = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Se = konsentrasi BOD akhir (mg/L)

f = faktor korelasi BOD-COD

Y = Koefisien yield ($\text{kg VSS} / \text{kg BOD}$)

Kd = koefisien endogenous (massa sel / waktu)

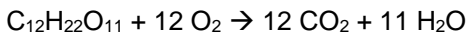
θ_c = umur lumpur (hari)

ρ_{udara} = masa jenis udara (kg/m^3)

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN KEBUTUHAN GULA UNTUK *SEEDING*

Zat organik pada air limbah IPLT Keputih berdasarkan data sekunder, COD 714,5 mg/L dan BOD 305,84 mg/L. Proses *seeding* menggunakan perbandingan konsentrasi beban organik air limbah dengan sukrosa = 1 : 1 (50% beban organik dari air limbah : 50% beban organik dari sukrosa). Perbandingan rasio beban organik dan sukrosa ini disesuaikan dengan rasio minimum BOD/COD dalam proses biologis yaitu sebesar 0,5. Sehingga pada proses *seeding* dimasukkan 50% air limbah (2L) dan dimasukkan kebutuhan sukrosa 50% dari kadar COD = 357,25 mg/L.



$$\text{Mr C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = 342$$

$$\text{Mr } 12 \text{O}_2 = 384$$

$$\text{Kadar COD C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = \text{Mr O}_2 / \text{Mr C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = 384/342 = 1,12 \text{ mg O}_2 / \text{mg C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$$

Sehingga massa sukrosa yang dibutuhkan:

$$\frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11}}{x \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11}} = \frac{1,12 \text{ mg } O_2}{357,25 \text{ mg } O_2}$$

$$x \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11} = \frac{357,25 \text{ mg } O_2}{1,12 \text{ mg } O_2}$$

$$= 318,97 \text{ mg}$$

$$\approx 0,32 \text{ gram } C_{12}H_{22}O_{11} \text{ (untuk tiap liter)}$$

LAMPIRAN C
PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN
PROSEDUR ANALISIS

A. Analisis Nitrat-nitrogen

1. Pembuatan Reagen

a. Brucine Asetat 0,5%

Larutkan 0,5 gram serbuk brucine dengan 100 mL acetic acid glacial (CH_3COOH) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna.

b. H_2SO_4 pekat

c. Larutan Standar Nitrat (100 ppm atau 100 mg/L)

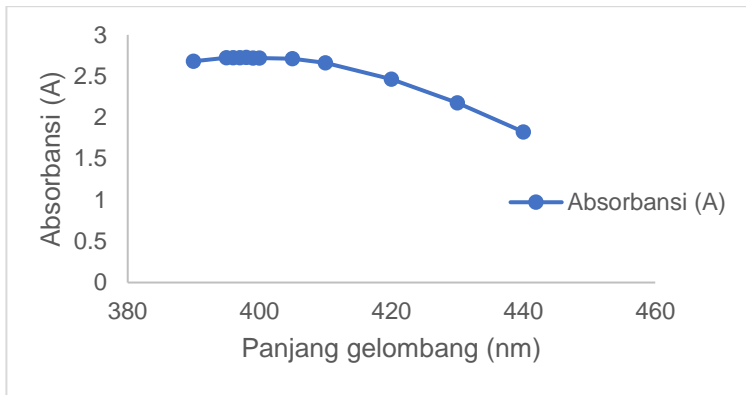
Timbang dengan teliti 721,8 mg KNO_3 kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L.

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

a. Penentuan panjang gelombang maksimum

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
390	2,68
395	2,721
396	2,722
397	2,723
398	2,728
399	2,720
400	2,720
405	2,712
410	2,660
420	2,463
430	2,177
440	1,825

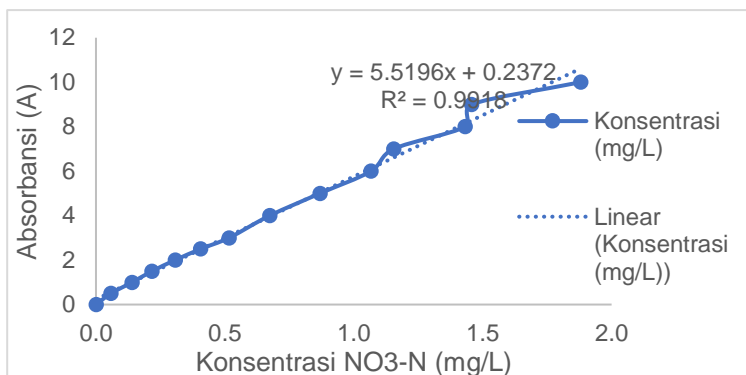


b. Kurva Kalibrasi Analisis Nitrat-Nitrogen

Digunakan panjang gelombang 398 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0,000
0,5	0,058
1	0,140
1,5	0,217
2	0,307
2,5	0,406
3	0,516
4	0,674
5	0,869
6	1,067
7	1,155
8	1,432

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
9	1,457
10	1,880



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar nitratnya.
- Diambil 2 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 2 mL larutan brucin asetat
- Ditambahkan 4 mL larutan H_2SO_4 pekat
- Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer
- Blanko yang digunakan adalah larutan sampel (tanpa reagen)

B. Analisis Amonium-nitrogen

1. Pembuatan Reagen

a. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

b. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

c. Larutan Standar Amonium (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis ammonium-nitrogen.

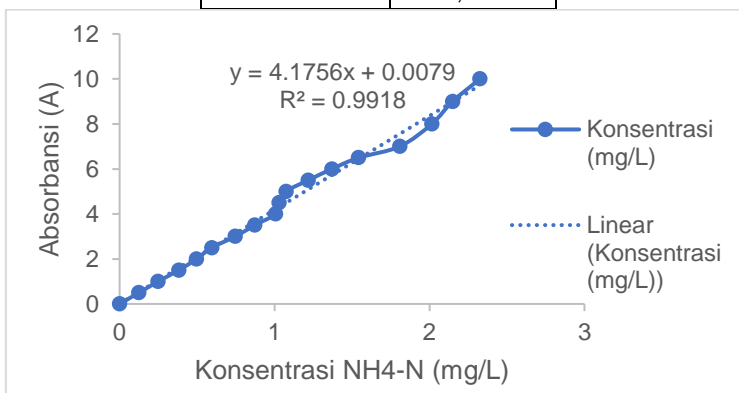
a. Penentuan panjang gelombang maksimum

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
388	0,443
389	0,450
390	0,456
391	0,458
392	0,454
393	0,445
394	0,442
395	0,441

b. Kurva Kalibrasi Analisis Amonium-Nitrogen

Digunakan panjang gelombang 391 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0,5	0,125
1	0,249
1,5	0,382
2	0,497
2,5	0,595
3	0,747
3,5	0,872
4	1,007
4,5	1,029
5	1,074
5,5	1,218
6	1,37
6,5	1,543
7	1,808
8	2,015
9	2,149
10	2,325



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar ammonianya.
- Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 1 mL larutan nessler
- Ditambahkan 1,25 mL larutan garam signet
- Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer
- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel.

C. Analisis Fosfat

1. Pembuatan Reagen

a. Ammonium molybdate

Timbang $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{14} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 12,5 gram. Larutkan dengan sedikit aquades. Tambahkan asam sulfat pekat 140 mL. Larutkan semua bahan ke dalam labu ukur 500 mL.

b. Larutan SnCl_2

Timbang $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2,5 gram. Siapkan glycerol 100 mL. campurkan kedua bahan tersebut, kemudian aduk hingga warna berubah menjadi putih susu. Setelah itu dipanaskan, aduk hingga larutan bening.

2. Kalibrasi Fosfat

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis fosfat.

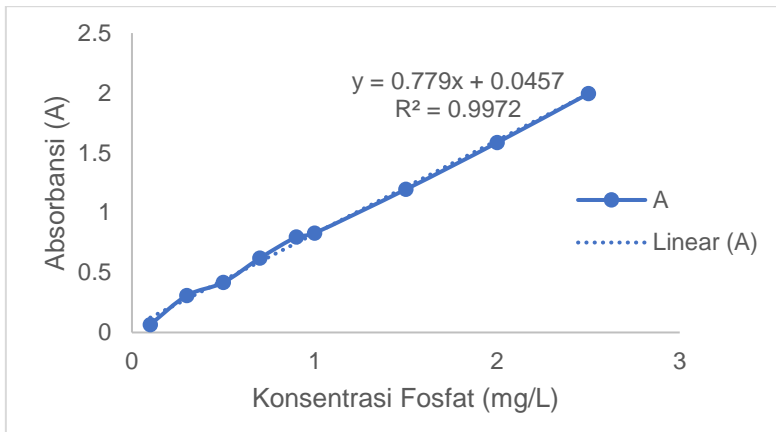
a. Penentuan panjang gelombang maksimum

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (A)
600	0,861
610	0,945
620	1,041
630	1,146
640	1,244

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (A)
650	1,35
660	1,437
670	1,518
680	1,579
690	1,623
700	1,647
710	1,646
715	1,633

- b. Kurva Kalibrasi Analisis Amonium-Nitrogen
 Digunakan panjang gelombang 391 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0,1	0,066
0,3	0,308
0,5	0,417
0,7	0,62
0,9	0,797
1	0,83
1,5	1,195
2	1,585
2,5	1,994



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis.
- Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 1 mL larutan Ammonium molybdate
- Ditambahkan 2-3 tetes larutan SnCl
- Diaduk dan didiamkan selama ± 7 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer
- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel.

D. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N

Timbang dengan teliti 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.

b. Larutan Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N

Timbang dengan teliti 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

c. Larutan Campuran Asam (Ag_2SO_4)

Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 ke dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna.

d. Larutan Indikator Ferroin

Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

2. Prosedur Analisis

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetri berdasarkan (Greenberg *et al.*, 2005), seperti berikut:

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
- Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- Disiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.
- Larutan Kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
- Larutan campuran asam (Ag_2SO_4) ditambahkan sebanyak 3,5 mL.
- Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.
- Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol.sampel}} \times p$$

dengan:

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

E. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan Buffer Fospat

Campur dan larutkan KH_2PO_4 0,85 gram, K_2HPO_4 0,2175 gram, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,334 gram dan NH_4Cl 0,17 gram ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

b. Larutan MgSO_4

Larutkan 0,225 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

c. Larutan CaCl_2

Larutkan 0,275 gram CaCl_2 ke dalam 100mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

d. Larutan FeCl_3

Larutkan 0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL. Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan Buffer Fospat, MgSO_4 , larutan CaCl_2 , larutan FeCl_3 dan larutan bakteri. Larutan bakteri dapat dibuat dengan mengaerasi 1 spatula (10 gram) tanah subur ke dalam air selama 2 jam.

e. Larutan MnCl_2 20%

Larutkan 20 gram MnCl_2 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

f. Larutan Pereaksi Oksigen

Campur dan larutkan 40 gram NaOH , 15 gram KI dan 2 gram NaN_3 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

g. Larutan Indikator Amilum 1%

Larutkan 1 gram amilum dengan 100 mL aquades yang sudah dididihkan di dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit Hgl₂ sebagai pengawet.

h. Larutan Thiosulfat 0,01 N

Larutkan 24,82 gram Na₂S₂O₃ ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. Kemudian ditambahkan dengan 1 gram NaOH sebagai buffer.

i. H₂SO₄ pekat

2. Prosedur Analisis

Metode analisis BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winklermetode titimetrik berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

- Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka KMNO₄ :

$$P = \frac{\text{Angka KMnO}_4}{3 \text{ atau } 5 \text{ (tergantung pH sampel)}}$$

- Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- Tuangkan air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 0 selama 5 hari.

- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
- Tambahkan 1 mL larutan MnCl_2 .
- Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
- Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
- Biarkan gumpalan mengendap selama ± 10 menit.
- Tambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat, tutup dan kocok kembali.
- Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL
- Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
- Titrasi dengan larutan Natrium Thiosulfat 0.0125 N sampai warna biru hilang.
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
- Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$\text{OT (mg O}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Dimana:

X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$

X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$

B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t = 0$

B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t = 5$

P = derajat pengenceran

a = volume titran (mL)

N = Normalitas Natrium Thiosulfat

F. Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)

Teknik analisis MLSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis TSS pada Greenberg *et al.* (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550 selama jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 05 selama 5 menit.
- Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 05 selama jam.
- Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai b (mg).
- Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada *vacuum* filter.
- Sampel disaring dengan menggunakan *vacuum* filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicatat volume sampel yang disaring sebagai c (mL).
- Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4.
- Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 05 C selama 1 jam.
- Cawan yang berisi kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg).
- Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{d(a+b)}{c} \times 1000 \times 1000$$

G. Analisis pH

Analisis pH menggunakan pH meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

- pH meter distandarisasi menggunakan larutan buffer pH pada pH 4, 7, dan 10. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH meter bergantian ke dalam larutan buffer dengan urutan: buffer pH 4 ; buffer pH 7 ; buffer pH 10 ; buffer pH 7.
- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dichelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang diukur nilai pH nya.
- Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca.

H. Analisis *Dissolved Oxygen* (DO)

Analisis DO menggunakan DO meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis sebagai berikut:

- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dichelupkan probe DO meter ke dalam sampel yang diukur nilai DOnya.
- Dibaca nilai DO sampel pada monitor pembaca.

I. Analisis *Coliform*

1. Pembuatan Media

- Ditimbang media *Lactose Broth* (LB) 13 gram. Larutkan menggunakan larutan NaCl 0,8% sampai 1 L.
- Dimasukkan media yang sudah larut ke dalam tabung reaksi sebanyak 10 mL.

- Dimasukkan tabung durham ke dalam tabung dan ditutup kapas lemak.
- Tabung berisi media di autoclaf selama 2 jam dengan suhu 121 °C.
- Didinginkan.

2. Prosedur Analisis

Metode analisis Total *Coliform* dilakukan dengan menggunakan prinsip MPN berdasarkan SNI 01-2332.1-2006, sebagai berikut:

- Sampel diencerkan menggunakan larutan NaCl 0,8% sampai batas yang ditentukan.
- Diambil 10 mL sampel yang sudah diencerkan dan dimasukkan ke dalam 5 tabung reaksi yang berisi media, 1 mL sampel dan dimasukkan ke dalam 5 tabung reaksi yang berisi media, dan 0,1 mL sampel kemudian dimasukkan ke dalam 5 tabung reaksi yang berisi media.
- Sampel dimasukkan ke inkubator selama 24 jam dengan suhu ± 35 °C.
- Diamati terbentuknya gelembung di dalam tabung, jika terbentuk menunjukkan bahwa sampel mengandung total *coliform*.
- Dicatat jumlah tabung yang mengandung colifom, selanjutnya dicocokkan dengan tabel MPN untuk mendapatkan konsentrasi bakteri *coliform*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D

DATA HASIL ANALISIS LABORATORIUM

A. Konsentrasi COD

1. Durasi Proses Aerobik 12 jam

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	0 jam	12 jam	12 jam	24 jam	24 jam	36 jam	36 jam	48 jam
300/12	340	270	330	290	330	290	320	240
400/12	460	390	450	410	450	210	440	370
500/12	580	530	570	550	570	410	560	470

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	48 jam	60 jam	60 jam	72 jam	72 jam	84 jam	84 jam	96 jam
300/12	300	240	290	200	270	170	260	120
400/12	460	380	450	360	420	330	410	280
500/12	520	420	510	280	470	420	460	390

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	96 jam	108 jam	108 jam	120 jam	120 jam	132 jam	132 jam	144 jam
300/12	340	160	330	210	250	220	240	140
400/12	420	200	410	370	310	230	300	200
500/12	560	240	550	530	400	360	390	330

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	144 jam	156 jam	156 jam	168 jam	168 jam	180 jam	180 jam	192 jam
300/12	360	270	350	250	315	245	305	215
400/12	440	310	430	330	375	275	365	235
500/12	520	430	510	390	475	335	465	415

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	192 jam	204 jam	204 jam	216 jam	216 jam	228 jam	228 jam	240 jam
300/12	320	200	310	180	260	190	250	180
400/12	400	320	390	290	360	300	350	270
500/12	500	320	490	410	410	210	400	200

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	240 jam	252 jam	252 jam	264 jam	264 jam	276 jam	276 jam	288 jam
300/12	320	270	310	90	295	235	285	245
400/12	420	340	410	310	380	260	370	330
500/12	540	260	530	470	400	320	390	350

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	288 jam	300 jam	300 jam	312 jam	312 jam	324 jam	324 jam	336 jam
300/12	360	270	350	200	315	295	305	185
400/12	420	260	410	300	440	320	430	290
500/12	520	140	510	400	530	510	520	340

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	336 jam	348 jam	348 jam	360 jam	360 jam	372 jam	372 jam	384 jam
300/12	320	160	310	250	340	240	330	270
400/12	400	120	390	330	360	240	350	290
500/12	560	280	550	450	520	480	510	390

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	384 jam	396 jam	396 jam	408 jam	408 jam	420 jam	420 jam	432 jam
300/12	380	260	370	190	320	280	310	250
400/12	460	300	450	250	480	440	470	410
500/12	500	380	490	370	540	460	530	430

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	432 jam	444 jam	444 jam	456 jam	456 jam	468 jam	468 jam	480 jam
300/12	380	240	370	270	310	280	300	220
400/12	440	240	430	370	440	320	430	370
500/12	550	380	540	380	565	485	555	475

2. Durasi Proses Aerobik 24 jam

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	0 jam	24 jam	24 jam	48 jam	48 jam	72 jam	72 jam	96 jam
300/24	390	310	380	300	300	100	290	50
400/24	420	260	410	190	380	240	370	280
500/24	560	360	550	470	500	400	490	390

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	96 jam	120 jam	120 jam	144 jam	144 jam	168 jam	168 jam	192 jam
300/24	300	180	290	90	340	80	330	110
400/24	400	320	390	210	440	180	430	180
500/24	540	360	530	370	520	280	510	310

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	192 jam	216 jam	216 jam	240 jam	240 jam	264 jam	264 jam	288 jam
300/24	310	190	300	180	340	140	330	230
400/24	440	240	430	230	400	240	390	230
500/24	550	290	540	180	520	200	510	370

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	288 jam	312 jam	312 jam	336 jam	336 jam	360 jam	360 jam	384 jam
300/24	340	80	330	90	380	100	370	150
400/24	400	280	390	230	420	260	410	210
500/24	480	180	470	230	540	280	530	330

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)							
	384 jam	408 jam	408 jam	432 jam	432 jam	456 jam	456 jam	480 jam
300/24	380	180	370	160	360	110	350	160
400/24	480	270	470	200	440	260	430	290
500/24	540	220	530	240	560	240	550	310

3. Durasi Proses Aerobik 48 jam

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)									
	0 jam	48 jam	48 jam	96 jam	96 jam	144 jam	144 jam	192 jam	192 jam	240 jam
300/48	340	200	320	90	360	200	340	120	340	60
400/48	480	120	480	220	480	280	440	270	400	80
500/48	560	200	540	200	500	260	500	200	540	120

REAKTOR	Konsentrasi COD (mg/L)									
	240 jam	288 jam	288 jam	336 jam	336 jam	384 jam	384 jam	432 jam	432 jam	480 jam
300/48	340	100	380	40	380	160	320	140	320	70
400/48	420	160	400	240	440	200	400	120	360	120
500/48	560	240	520	320	520	180	560	240	580	200

B. Konsentrasi Ammonium

1. Durasi Proses Aerobik 12 jam

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	0 jam	12 jam	12 jam	24 jam	24 jam	36 jam	36 jam	48 jam
300/12	32,72	14,92	31,72	35,93	23,82	9,87	22,82	19,97
400/12	33,49	2,24	32,49	66,99	17,87	13,45	16,87	34,68
500/12	58,34	36,38	57,34	49,15	47,36	29,33	46,36	33,33

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	48 jam	60 jam	60 jam	72 jam	72 jam	84 jam	84 jam	96 jam
300/12	4,66	3,18	3,66	2,24	3,92	4,76	2,92	2,55
400/12	6,42	22,92	5,42	10,92	14,67	-19,32	13,67	16,32
500/12	23,31	38,62	22,31	9,20	30,96	16,76	29,96	11,48

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	96 jam	108 jam	108 jam	120 jam	120 jam	132 jam	132 jam	144 jam
300/12	24,64	8,45	23,64	18,64	16,54	14,82	15,54	13,49
400/12	5,96	2,70	4,96	4,49	4,33	2,02	3,33	2,61
500/12	11,91	3,09	10,91	10,41	7,50	4,77	6,50	5,45

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	144 jam	156 jam	156 jam	168 jam	168 jam	180 jam	180 jam	192 jam
300/12	2,91	2,41	1,91	20,06	2,66	-18,39	1,66	3,59
400/12	3,64	3,81	2,64	-3,83	3,73	1,58	2,73	3,94
500/12	10,20	6,81	9,20	1,72	8,50	8,75	7,50	9,23

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	192 jam	204 jam	204 jam	216 jam	216 jam	228 jam	228 jam	240 jam
300/12	40,54	22,18	39,54	36,48	31,36	29,64	30,36	29,02
400/12	114,57	41,04	113,57	105,71	77,80	76,58	76,80	75,16
500/12	122,72	181,55	121,72	114,12	152,14	143,86	151,14	143,40

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	240 jam	252 jam	252 jam	264 jam	264 jam	276 jam	276 jam	288 jam
300/12	28,60	6,66	27,60	27,06	17,63	26,83	16,63	5,20
400/12	40,35	33,85	39,35	25,73	37,10	36,22	36,10	39,75
500/12	50,12	59,19	49,12	45,25	54,65	48,94	53,65	60,71

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	288 jam	300 jam	300 jam	312 jam	312 jam	324 jam	324 jam	336 jam
300/12	12,22	6,88	11,22	10,67	9,55	34,67	8,55	-19,10
400/12	79,85	33,32	78,85	63,68	56,59	56,96	55,59	51,89
500/12	59,54	147,35	58,54	54,04	103,45	93,53	102,45	90,13

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	336 jam	348 jam	348 jam	360 jam	360 jam	372 jam	372 jam	384 jam
300/12	52,32	8,99	51,32	46,03	30,66	28,47	29,66	29,07
400/12	57,82	15,63	56,82	46,48	36,72	31,76	35,72	37,07
500/12	141,03	117,50	140,03	128,77	129,26	107,12	128,26	130,03

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	384 jam	396 jam	396 jam	408 jam	408 jam	420 jam	420 jam	432 jam
300/12	8,33	1,18	7,33	29,05	4,75	-16,22	3,75	8,37
400/12	56,12	-0,17	55,12	79,87	27,98	5,42	26,98	40,80
500/12	162,92	87,42	161,92	103,60	125,17	141,76	124,17	158,24

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	432 jam	444 jam	444 jam	456 jam	456 jam	468 jam	468 jam	480 jam
300/12	72,38	8,87	71,38	70,12	40,63	41,51	39,63	37,40
400/12	92,83	6,39	91,83	90,24	49,61	53,01	48,61	43,48
500/12	376,68	85,77	375,68	339,92	231,23	241,69	230,23	251,53

2. Durasi Proses Aerobik 24 jam

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	0 jam	24 jam	24 jam	48 jam	48 jam	72 jam	72 jam	96 jam
300/24	40,93	6,52	39,93	38,16	1,06	5,33	0,06	-27,38
400/24	26,78	0,58	25,78	30,32	32,07	25,63	31,07	9,55
500/24	34,61	1,08	33,61	41,63	9,24	3,87	8,24	4,29

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	96 jam	120 jam	120 jam	144 jam	144 jam	168 jam	168 jam	192 jam
300/24	3,74	8,70	2,74	-9,91	3,57	4,59	0,47	0,93
400/24	20,67	1,72	19,67	17,78	36,13	19,10	18,71	9,84
500/24	0,47	9,89	-0,53	-5,74	6,83	4,71	3,20	4,04

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	192 jam	216 jam	216 jam	240 jam	240 jam	264 jam	264 jam	288 jam
300/24	14,58	9,95	13,58	5,22	13,61	3,87	12,61	9,67
400/24	13,26	8,55	12,26	1,13	50,50	22,56	49,50	27,19
500/24	25,38	29,73	24,38	5,94	19,09	14,50	18,09	5,32

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	288 jam	312 jam	312 jam	336 jam	336 jam	360 jam	360 jam	384 jam
300/24	6,85	2,73	8,67	7,92	86,02	18,76	85,02	82,33
400/24	61,60	4,12	26,19	30,10	46,21	2,81	45,21	43,62
500/24	28,16	6,90	4,32	2,01	55,87	3,50	54,87	55,25

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)							
	384 jam	408 jam	408 jam	432 jam	432 jam	456 jam	456 jam	480 jam
300/24	1,54	21,39	20,39	4,08	40,75	1,46	39,75	38,99
400/24	46,22	35,92	34,92	1,86	42,68	1,40	41,68	45,67
500/24	36,82	43,15	42,15	2,03	97,71	42,10	96,71	89,23

3. Durasi Proses Aerobik 48 jam

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)									
	0 jam	48 jam	48 jam	96 jam	96 jam	144 jam	144 jam	192 jam	192 jam	240 jam
300/48	34,77	2,44	3,59	5,25	7,56	1,26	16,94	1,26	11,53	0,31
400/48	31,51	2,07	42,48	5,50	35,44	-0,29	28,89	5,20	12,66	1,09
500/48	41,69	2,97	10,07	20,42	24,32	0,46	17,51	6,39	19,26	7,82

REAKTOR	Konsentrasi Ammonium (mg/L)									
	240 jam	288 jam	288 jam	336 jam	336 jam	384 jam	384 jam	432 jam	432 jam	480 jam
300/48	10,71	2,54	15,97	0,46	64,86	3,19	2,31	4,96	5,97	4,29
400/48	136,32	0,22	25,67	2,90	49,84	4,31	35,84	25,67	59,45	3,57
500/48	708,24	355,29	62,09	2,00	102,51	5,46	52,22	5,91	90,08	3,57

A. Konsentrasi Nitrat

1. Durasi Proses Aerobik 12 jam

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	0 jam	12 jam	12 jam	24 jam	24 jam	36 jam	36 jam	48 jam
300/12	7,41	8,36	6,41	-0,21	7,89	8,55	6,89	10,28
400/12	6,12	8,78	5,12	-4,57	7,45	7,78	6,45	6,95
500/12	7,91	50,20	6,91	-40,12	29,05	33,00	28,05	32,06

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	48 jam	60 jam	60 jam	72 jam	72 jam	84 jam	84 jam	96 jam
300/12	11,17	9,57	10,17	10,61	10,37	6,25	9,37	3,36
400/12	14,38	8,71	13,38	15,55	11,54	9,82	10,54	2,70
500/12	6,17	2,50	5,17	5,73	4,34	11,46	3,34	-5,46

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	96 jam	108 jam	108 jam	120 jam	120 jam	132 jam	132 jam	144 jam
300/12	7,06	11,61	6,06	3,00	9,34	5,43	8,34	11,24
400/12	4,86	3,54	3,86	22,23	4,20	-4,05	3,20	2,99
500/12	3,00	4,65	2,00	8,34	3,82	-3,42	2,82	4,56

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	144 jam	156 jam	156 jam	168 jam	168 jam	180 jam	180 jam	192 jam
300/12	10,84	12,72	9,84	10,12	11,78	11,84	10,78	29,93
400/12	15,26	28,31	14,26	10,48	21,79	19,73	20,79	19,23
500/12	5,66	9,02	4,66	2,60	7,34	7,01	6,34	6,73

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	192 jam	204 jam	204 jam	216 jam	216 jam	228 jam	228 jam	240 jam
300/12	3,41	4,71	2,41	0,85	4,06	6,18	3,06	1,50
400/12	2,64	3,51	1,64	10,65	3,07	5,24	2,07	11,09
500/12	3,55	2,44	2,55	3,39	3,00	1,66	2,00	2,83

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	240 jam	252 jam	252 jam	264 jam	264 jam	276 jam	276 jam	288 jam
300/12	16,40	28,30	15,40	18,18	22,35	23,07	21,35	22,02
400/12	24,50	32,78	23,50	25,06	28,64	31,48	27,64	28,70
500/12	5,80	4,12	4,80	5,97	4,96	5,29	3,96	3,46

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	288 jam	300 jam	300 jam	312 jam	312 jam	324 jam	324 jam	336 jam
300/12	22,24	31,10	21,24	12,89	26,67	37,30	25,67	15,37
400/12	50,56	66,34	49,56	46,06	58,45	60,51	57,45	52,44
500/12	29,81	15,34	28,81	31,98	22,57	20,07	21,57	32,76

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	336 jam	348 jam	348 jam	360 jam	360 jam	372 jam	372 jam	384 jam
300/12	35,41	38,67	34,41	40,64	37,04	33,87	36,04	37,10
400/12	32,01	45,48	31,01	35,07	38,74	35,13	37,74	35,74
500/12	29,53	11,02	28,53	49,17	20,28	2,97	19,28	26,23

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	384 jam	396 jam	396 jam	408 jam	408 jam	420 jam	420 jam	432 jam
300/12	32,29	38,03	31,29	35,97	35,16	24,15	34,16	38,11
400/12	33,44	56,97	32,44	35,16	45,20	51,71	44,20	50,82
500/12	28,60	20,95	27,60	29,66	24,78	23,72	23,78	28,56

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	432 jam	444 jam	444 jam	456 jam	456 jam	468 jam	468 jam	480 jam
300/12	58,22	25,33	57,22	69,80	41,78	49,01	40,78	45,73
400/12	150,69	125,68	149,69	172,56	138,18	101,90	137,18	166,23
500/12	92,55	74,80	91,55	184,10	83,68	-19,88	82,68	100,99

2. Durasi Proses Aerobik 24 jam

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	0 jam	24 jam	24 jam	48 jam	48 jam	72 jam	72 jam	96 jam
300/24	9,06	9,47	8,06	9,89	5,58	0,59	4,58	5,70
400/24	4,49	6,63	3,49	29,98	5,97	8,10	4,97	6,09
500/24	5,51	9,48	4,51	12,07	23,54	33,92	22,54	1,45

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	96 jam	120 jam	120 jam	144 jam	144 jam	168 jam	168 jam	192 jam
300/24	2,37	2,54	1,37	5,88	7,78	8,73	6,78	13,02
400/24	9,33	13,56	8,33	4,77	7,41	8,53	6,41	12,47
500/24	28,75	55,42	27,75	24,24	16,15	19,50	15,15	17,27

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	192 jam	216 jam	216 jam	240 jam	240 jam	264 jam	264 jam	288 jam
300/24	9,66	6,33	8,66	2,65	10,72	17,01	9,72	10,83
400/24	3,10	2,16	2,10	-0,13	23,66	35,79	22,66	31,12
500/24	4,47	5,39	3,47	4,47	5,90	4,80	4,90	25,77

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	288 jam	312 jam	312 jam	336 jam	336 jam	360 jam	360 jam	384 jam
300/24	2,43	10,56	1,43	2,38	70,73	100,08	69,73	72,57
400/24	23,33	52,93	22,33	8,58	13,70	28,02	12,70	9,03
500/24	34,69	43,18	33,69	27,45	47,28	63,81	46,28	36,32

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)							
	384 jam	408 jam	408 jam	432 jam	432 jam	456 jam	456 jam	480 jam
300/24	38,86	41,66	37,86	37,53	72,45	60,05	71,45	66,60
400/24	11,78	49,95	10,78	4,04	110,45	120,45	109,45	103,66
500/24	46,48	73,05	45,48	47,10	72,68	56,15	71,68	145,64

3. Durasi Proses Aerobik 48 jam

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)									
	0 jam	48 jam	48 jam	96 jam	96 jam	144 jam	144 jam	192 jam	192 jam	240 jam
300/48	7,85	11,84	8,75	0,75	3,76	6,49	7,51	29,54	2,90	4,07
400/48	5,15	10,90	7,88	2,26	3,87	31,51	11,79	28,22	5,66	16,42
500/48	5,41	17,02	16,09	1,91	3,59	11,50	4,32	16,84	2,49	14,51

REAKTOR	Konsentrasi Nitrat (mg/L)									
	240 jam	288 jam	288 jam	336 jam	336 jam	384 jam	384 jam	432 jam	432 jam	480 jam
300/48	29,00	44,65	23,91	18,10	39,54	115,67	24,41	33,09	52,01	40,38
400/48	27,15	35,62	18,23	12,05	43,62	38,83	25,97	49,50	29,64	67,48
500/48	16,50	29,14	71,52	131,57	69,35	85,75	77,86	11053	127,44	277,30

D. Konsentrasi BOD

Reaktor	Intermittent awal		Intermittent akhir	
	BOD ₅ awal	BOD ₅ akhir	BOD ₅ awal	BOD ₅ akhir
300/12	252	78	106,7	86,7
400/12	197,6	54,4	186,7	150,7
500/12	176,8	108	216,0	175,3
300/24	149,6	39,2	293,3	170,7
400/24	423,2	61,6	128,0	80,7
500/24	288	204	140,0	110,0
300/48	123,2	48	144,0	58,7
400/48	316,8	62,4	192,0	80,7
500/48	364,8	108	234,7	100,0

E. Konsentrasi pH

Reaktor	Pengukuran Hari Ke-																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
300/12	7,2	7,4	7,5	7,4	7,6	7,8	7,5	7,8	7,5	7,6	7,6	7,8	7,7	7,8	7,7	7,6	7,7	7,7	7,6	7,8
400/12	7,3	7,4	7,1	7,4	7,6	7,6	7,6	8,1	7,5	7,7	7,8	7,6	7,6	7,8	7,6	7,7	7,7	7,6	7,6	7,6
500/12	7	7,3	7,3	7,3	7,7	7,6	7,8	7,8	7,5	7,7	7,9	7,6	7,8	7,7	7,5	7,8	7,7	7,8	7,6	7,8
300/24	7,4	7,3	7,2	7,8	7,7	7,6	7,8	7,8	7,6	7,7	7,6	7,6	7,7	7,7	7,5	7,5	7,7	7,7	7,8	7,7
400/24	7,5	7,4	7,3	7,4	7,6	7,7	7,9	8,1	7,7	7,8	7,7	7,7	7,8	7,8	7,4	7,6	7,8	7,8	7,7	7,8
500/24	7,3	7,3	7,1	7,3	7,6	7,5	7,8	7,6	7,6	7,7	7,6	7,5	7,9	7,6	7,4	7,5	7,7	7,9	7,8	7,9
300/48	7,4	7,4	7,3	7,3	7,8	7,6	7,7	7,7	7,6	7,6	7,5	7,6	7,7	7,8	7,5	7,6	7,6	7,7	7,8	7,7
400/48	7,7	7,3	7,2	7,5	7,7	8,2	7,9	7,7	7,7	7,6	7,5	7,7	7,9	7,6	7,5	7,7	7,6	7,9	7,8	7,9
500/48	7,7	7,6	7	7,5	7,6	7,9	7,8	7,6	7,6	7,8	7,8	7,9	7,9	7,6	7,8	7,7	7,8	7,9	7,7	7,9

F. Konsentrasi DO

Reaktor	Pengukuran Hari Ke-																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
300/12	2,9	3,1	3	3,5	3,1	3,3	3,2	3,3	3,2	3,4	3	3,4	3,2	3,8	2,9	3,4	3,1	3,5	3,3	3,41
400/12	2,7	3,3	3,1	3,2	2,9	3,2	3	3,4	3,1	3,4	3,5	3,7	2,9	3,5	3,1	3,7	2,7	3,21	3,19	3,4
500/12	2,6	3,2	3,2	3,4	2,9	3,2	3,1	3,3	3,2	3,5	3,5	3,8	3,4	3,4	3,3	3,5	2,8	3,16	2,85	3,17
300/24	2,8	3	2,9	3,3	3,2	3,4	2,9	3,2	3,1	3,3	3,1	3,6	3,4	4	3,2	3,9	3,2	3,3	2,9	3,8
400/24	2,6	2,9	3	3,5	3,1	3,3	2,8	3,5	3,2	3,6	3	3,7	2,9	3,4	2,9	3,5	3,2	3,2	2,5	3,4
500/24	2,9	3,1	3	3,4	3,2	3,4	3,2	3,4	3,3	3,4	3,3	3,6	3,3	3,4	3,3	3,6	3,2	3,3	2,7	3,6
300/48	2,8	3,1	2,8	3,4	2,8	3,5	3	3,2	2,9	3,3	3	3,8	3,1	3,6	3,1	3,5	3,1	3,5	2,5	3,36
400/48	2,7	3,4	2,9	3,3	3	3,4	2,9	3,4	3	3,7	3,2	3,5	3,2	3,7	3,2	4	3	3,4	2,86	3,24
500/48	2,8	3,3	3,2	3,6	2,7	3,5	2,9	3,3	3	3,6	3,1	3,7	3,3	3,5	3,2	3,4	3,1	3,6	2,5	3,14





G. Konsentrasi *Coliform*




Reaktor	Combination of Positivies	MPN Index/100 mL	Angka pengenceran	Nilai
300/12	5 1 2	63	100.000	6.300.000
400/12	5 4 0	130	100.000	13.000.000
500/12	5 5 2	540	100.000	54.000.000
300/24	5 4 0	130	100.000	13.000.000
400/24	5 3 4	210	100.000	21.000.000
500/24	5 4 4	350	100.000	35.000.000
300/48	4 5 0	41	100.000	4.100.000
400/48	5 5 2	540	100.000	54.000.000
500/48	5 5 4	1600	100.000	160.000.000

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E DOKUMENTASI PENELITIAN

Gambar Kegiatan	Deskripsi Kegiatan
	<p>Pengambilan lumpur RAS di IPLT Keputih</p>
	<p>Reaktor penelitian</p>
	<p>Analisis DO menggunakan DO meter</p>

	<p>Analisis BOD</p>
	<p>Analisis MLSS</p>
	<p>Analisis COD</p>
	<p>Mengukur pH menggunakan pH meter</p>

	<p>Analisis BPC</p>
	<p>Analisis Ammonia</p>
	<p>Analisis <i>coliform</i></p>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis berasal dari Kebumen, Jawa Tengah dan lahir pada tanggal 15 Juni 1996. Penulis menghabiskan masa pendidikan wajibnya di Kebumen dengan mengenyam pendidikan di SDN 2 Sidomukti (2002-2008), SMPN 1 Karanganyar (2008-2011) dan SMAN 1 Kebumen (2012-2014). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan (FTSLK), ITS.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di beberapa organisasi seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) ITS . Penulis pernah menjadi kepala departemen kewirausahaan dan juga pernah mengikuti berbagai kepanitian di ITS. Di bidang Teknik Lingkungan, penulis aktif menjadi asisten laboratorium untuk mata kuliah Remediasi Badan Air dan Perairan dan Teknik Analisis Pencemar Lingkungan. Prestasi yang pernah diraih adalah juara 2 Business Plan Competition dan 100 besar Swisschallange-Inovation Indonesia. Penulis juga berkesempatan untuk kerja praktek di PT Pertamina RU IV Cilacap. Penulis dapat dihubungi melalui email yuniesasetya@gmail.com.